



ELEMENTI DI RADIOPROTEZIONE PER MEDICI DI FAMIGLIA, PEDIATRI DI LIBERA SCELTA E SPECIALISTI

Effetti fisici delle radiazioni ionizzanti

Roma

4 marzo 2023

Ing. Marco Martellucci

Coordinatore Comitato Scientifico

Master Agenti Fisici e Radioprotezione

Università di Tor Vergata

Fisica di base

L'ATOMO

L'atomo (*dal greco ἄτομος - àtomos -, indivisibile, unione di ἄ - a - [alfa privativo] + τέμνειν - témnnein - [tagliare]*) è una struttura nella quale è normalmente organizzata la materia nel mondo fisico o in natura.

Più atomi formano le molecole, mentre gli atomi sono a loro volta formati da costituenti subatomici quali **protoni** (con carica positiva), **neutroni** (con carica neutra) ed **elettroni** (con carica negativa).

La **teoria atomica** è dunque la teoria fisica secondo la quale tutta la materia è costituita da unità elementari chiamate atomi.

L'ATOMO

Nel 1913 **Niels Bohr** propose il suo modello su cui si basa la fisica moderna.

Pur accettandone l'idea di modello planetario, postulò che gli elettroni avessero a disposizione orbite fisse, dette anche "orbite quantizzate", queste orbite possedevano un'**energia quantizzata** (ossia un'energia già prestabilita identificata da un numero detto numero quantico principale N) nelle quali gli elettroni non emettevano né assorbivano energia (questa infatti rimaneva costante).

In particolare, un elettrone emetteva o assorbiva energia sotto forma di onde elettromagnetiche solo se effettuava una transizione da un'orbita all'altra, e quindi passava ad uno stato a energia minore o maggiore.

L'ATOMO

L'Atomo è composto principalmente da tre tipologie di particelle subatomiche (cioè di dimensioni minori dell'atomo):

- **Protoni**
- **Neutroni**
- **Elettroni**

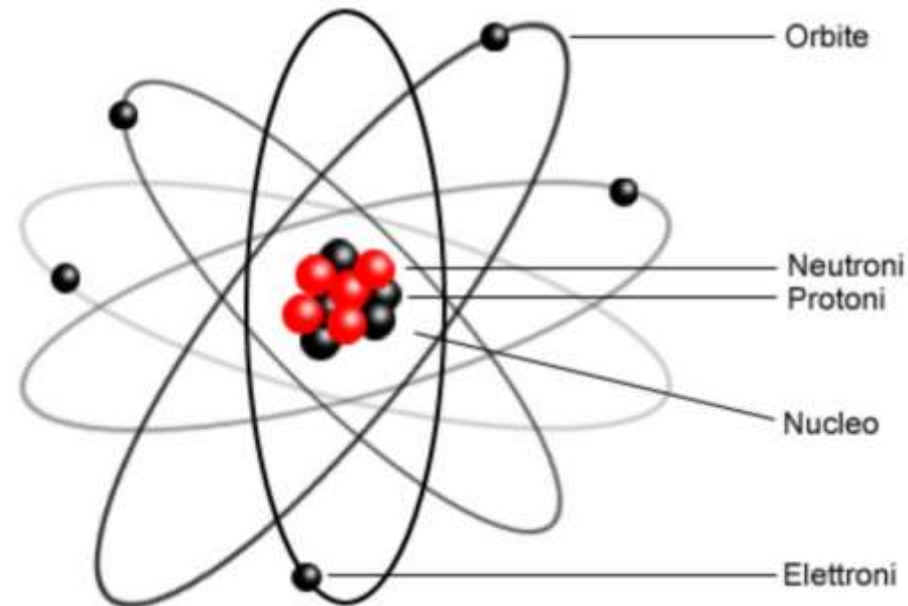
In particolare:

- i protoni (carichi positivamente) e i neutroni (privi di carica) formano il "nucleo" (carico positivamente); protoni e neutroni sono detti quindi "**nucleoni**";
- gli elettroni (carichi negativamente) sono presenti nello stesso numero dei protoni e ruotano attorno al nucleo senza seguire un'orbita precisa (l'elettrone si dice quindi "delocalizzato"), rimanendo confinati all'interno degli orbitali (o "livelli energetici").

L'ATOMO

L'Atomo è composto principalmente da tre tipologie di particelle subatomiche (cioè di dimensioni minori dell'atomo):

- **Protoni**
- **Neutroni**
- **Elettroni**



L'ATOMO

L'Atomo è composto principalmente da tre tipologie di particelle subatomiche (cioè di dimensioni minori dell'atomo):

- **Protoni**
- **Neutroni**
- **Elettroni**

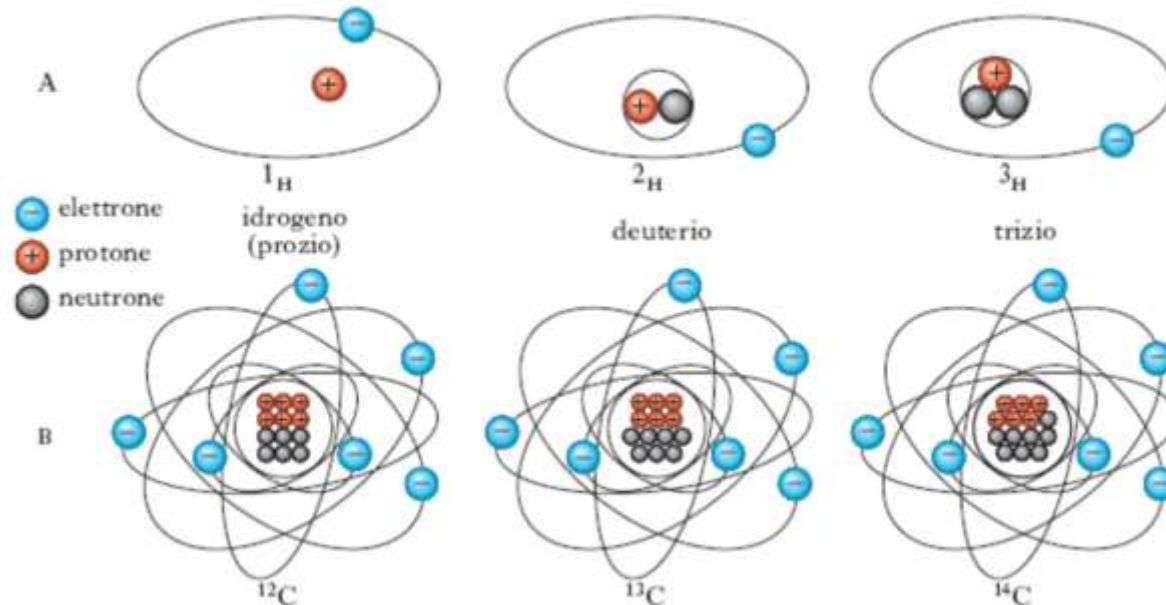
Particella	Simbolo	Carica	Massa
Elettrone	e^-	$-1,6 \times 10^{-19}$ C	$9,109\,382\,6 \times 10^{-31}$ kg (0,51099 891 MeV/C ²)
Protone	p^+	$1,6 \times 10^{-19}$ C	$1,672\,623\,1 \times 10^{-27}$ kg (9,3828 × 10 ² MeV/C ²)
Neutrone	n	0 C	$1,674\,927\,29 \times 10^{-27}$ kg (9,39565 × 10 ² MeV/C ²)

L'ATOMO

Si definiscono due quantità per identificare ogni atomo:

Numero di massa (A) la somma del numero di neutroni e protoni nel nucleo.

Numero atomico (Z) il numero dei protoni nel nucleo, che, allo stato neutro, corrisponde al numero di elettroni esterni ad esso.



La Radioattività

ISOTOPI – ISOBARI – ISOTONI : Terminologia e Simboli

- **Elemento** : insieme di atomi con proprietà chimiche equivalenti



X = simbolo chimico

Z = numero atomico (p)

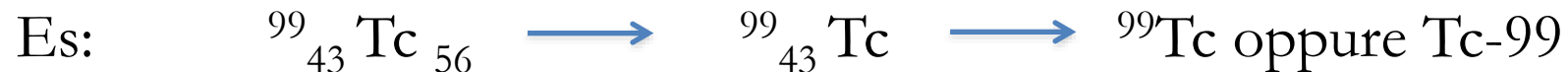
- **Nuclide** : atomo caratterizzato da un definito numero di particelle subatomiche (nucleoni)



A = numero di massa (p + n)=Z+N

N = numero di neutroni (n)

Z = numero atomico (p)



ISOTOPI – ISOBARI – ISOTONI : Terminologia e Simboli

- **Elemento** : insieme di atomi con proprietà chimiche equivalenti



X = simbolo chimico

Z = numero atomico (p)

- **Nuclide** : atomo caratterizzato da un definito numero di particelle subatomiche (nucleoni)



A = numero di massa (p + n) = Z + N

N = numero di neutroni (n)

Z = numero atomico (p)

ISOBARI	Nuclidi con eguale numero di massa A
ISOTOPI	Nuclidi con eguale numero atomico Z
ISOTONI	Nuclidi con eguale numero di neutroni N

RADIOISOTOPO

E' un radio-nuclide (naturale o artificiale) di un particolare elemento:

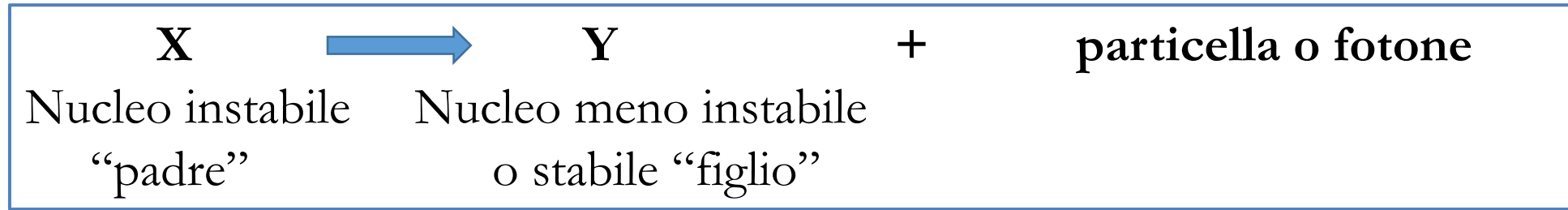
^AX oppure X-A (Es: ^{99m}Tc oppure Tc-99m)

caratterizzato da un nucleo instabile che tende a raggiungere la stabilità emettendo radiazioni (decadimento).

Ogni radioisotopo è caratterizzato:

- dalla **modalità di decadimento**
- dal **tipo ed energia di emissione** (particelle o fotoni)
- dalla sua **emi-vita fisica ($t_{1/2}$)**: intervallo di tempo impiegato da una determinata quantità di un radio-nuclide per ridursi alla metà del suo valore iniziale per effetto del suo decadimento.

DECADIMENTO DI NUCLEI RADIOATTIVI



Il decadimento radioattivo è il processo per cui un radio-nuclide **si trasforma nel nucleo di un elemento diverso o raggiunge uno stato energetico minore, emettendo radiazioni.**

Il nuclide prodotto in un decadimento può risultare stabile e non emettere ulteriori radiazioni o a sua volta essere ancora radioattivo.

Lo studio del processo di decadimento può essere suddiviso in due parti:

1. Studio delle **modalità di decadimento**
2. Studio della **cinetica di decadimento**

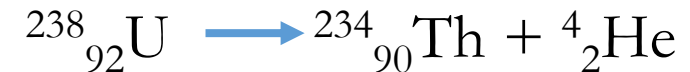
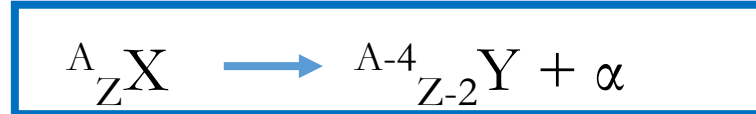
1 - MODALITA' DI DECADIMENTO

I radionuclidi possono decadere utilizzando uno (o una combinazione) dei 5 seguenti processi:

Decadimento con emissione di particelle

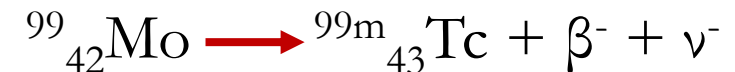
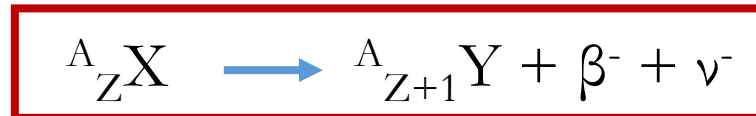
- Decadimento per cattura elettronica

- Decadimento alfa

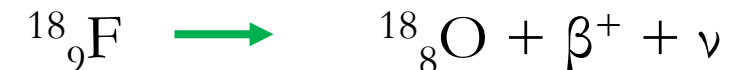
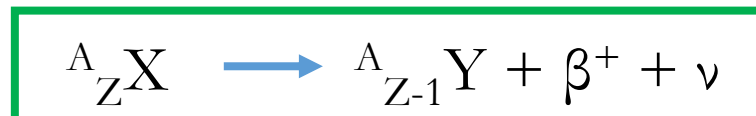


- Decadimento beta (positivo o negativo)

Decadimento β^- n p⁺ + β^- + ν^-



Decadimento β^+ p⁺ n + β^+ + ν

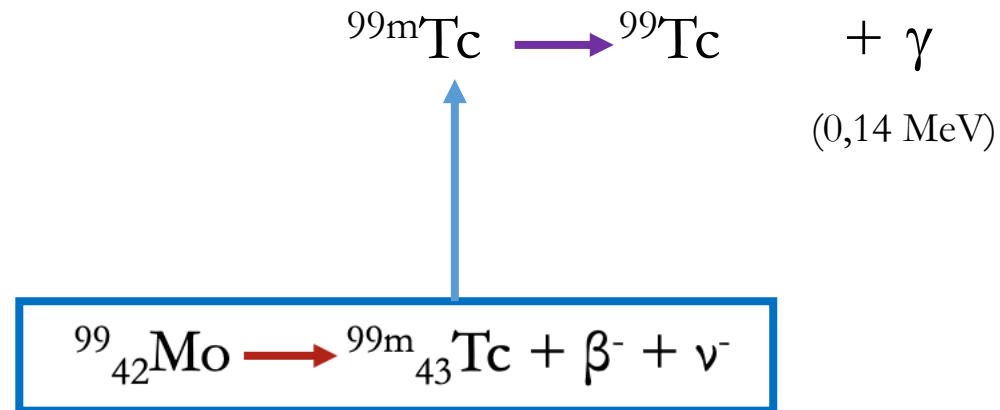


1 - MODALITA' DI DECADIMENTO

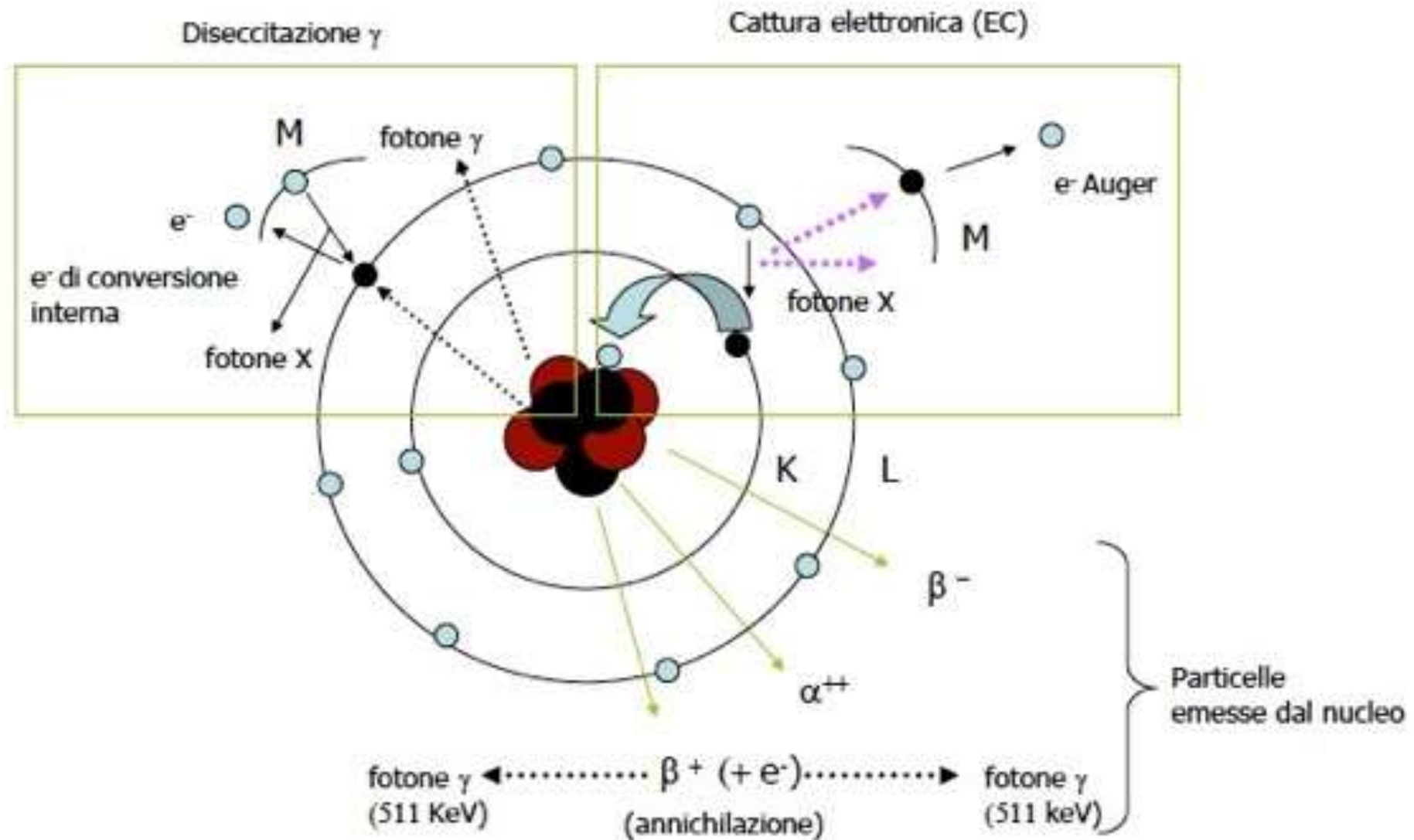
I radionuclidi possono decadere utilizzando uno (o una combinazione) dei 5 seguenti processi:

Diseccitazione

- decadimento per conversione interna
- decadimento gamma



1 - MODALITA' DI DECADIMENTO

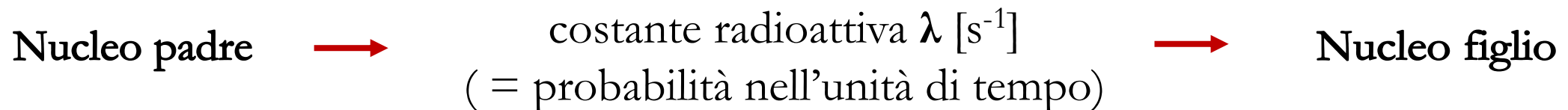


2 - CINETICA DI DECADIMENTO

Consideriamo un nucleo instabile in un dato istante; questo si trasformerà in un nucleo stabile (dopo una o più trasformazioni) attraverso un dato processo radioattivo.

E' **impossibile** prevedere quando un dato nucleo si trasformerà; possiamo solamente definire una certa **probabilità di trasformazione** in un'unità di tempo data. Questa probabilità è la stessa per tutti i nuclei di un dato nuclide e si mantiene costante nel tempo.

Questa probabilità di disintegrazione radioattiva spontanea per unità di tempo è detta **costante radioattiva**, si esprime in secondi⁻¹ e si indica con λ .



2 - CINETICA DI DECADIMENTO

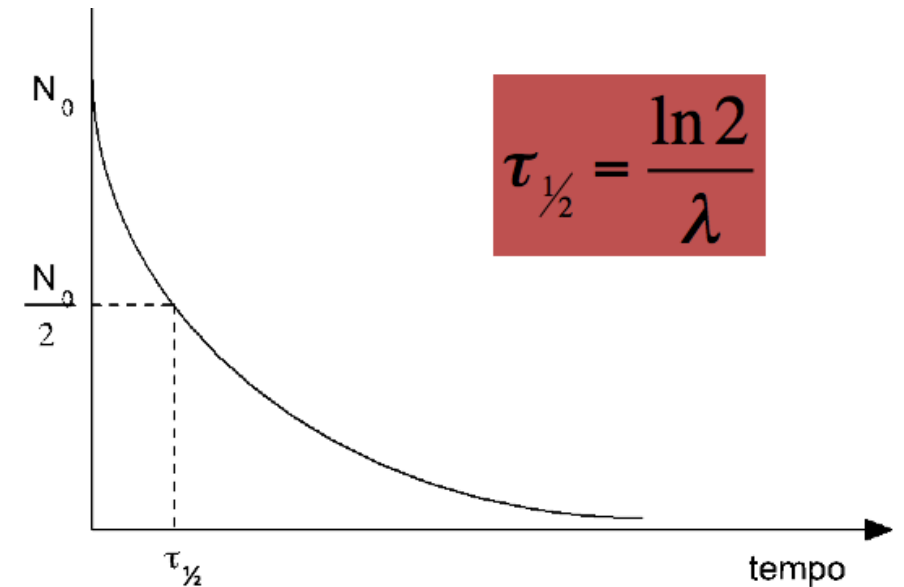
La legge che regola la cinetica di decadimento degli atomi radioattivi è di tipo esponenziale:

$$N(t) = N_0 e^{-\lambda t}$$

La quantità λN , esprime la **velocità di disintegrazione** di una quantità determinata di una data sostanza radioattiva ($-dN/dt$) ed è chiamata **Attività**:

$$A(t) = A_0 e^{-\lambda t}$$

Tempo di Dimezzamento:
Tempo necessario ad un dato numero di atomi radioattivi (N_0) per dimezzarsi ($N_0/2$)



2 - CINETICA DI DECADIMENTO

L'Unità di misura Storica dell'Attività è rappresentata dal Curie ed è definita come segue:

1 Curie = quantitativo di ^{226}Ra contenuto in 1 grammo di materia

Ma nel sistema internazionale si utilizza il Becquerel definito come segue:

1 Becquerel = numero di disintegrazioni che avvengono nell'unità di tempo

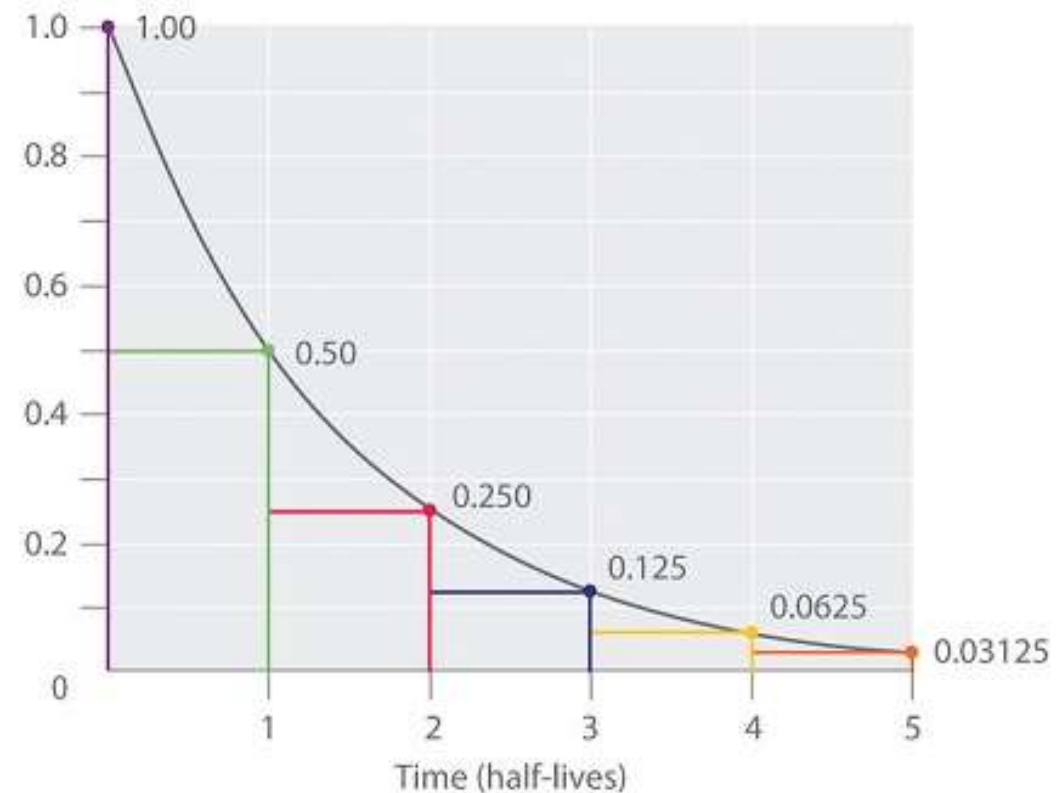
$$1 \text{ Ci} = 3,7 \times 10^{10} \text{ Bq}$$



2 - CINETICA DI DECADIMENTO

Ogni Radionuclide oltre ad avere una propria Modalità di Decadimento ha una sua Cinetica di Decadimento rappresentata proprio da un **diverso Tempo di Dimezzamento**.

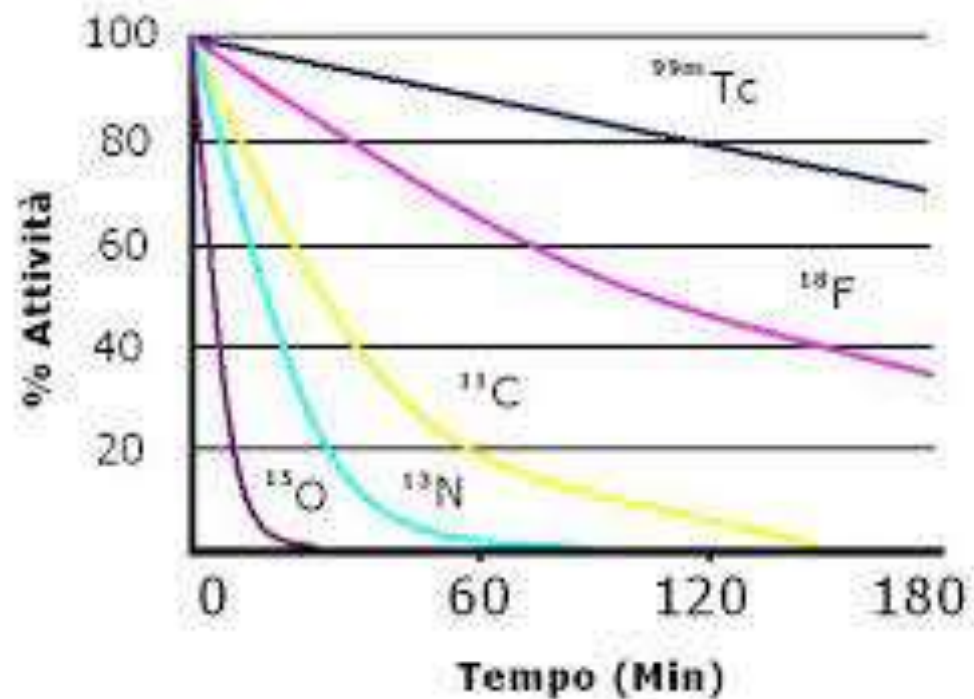
Normalmente dopo 5 – 6 Tempo di Dimezzamento l'Attività presente si può considerare quasi completamente decaduta.



2 - CINETICA DI DECADIMENTO

Ogni Radionuclide oltre ad avere una propria Modalità di Decadimento ha una sua Cinetica di Decadimento rappresentata proprio da un **diverso Tempo di Dimezzamento**.

<i>Tempi di dimezzamento di alcuni nuclidi</i>		
Nuclide	<i>T</i>	Decadimento
Uranio 238	4.5×10^9 anni	α, γ
Carbonio 14	5730 anni	β
Radio 226	1600 anni	α, γ
Stronzio 90	28.5 anni	β, γ
Cobalto 60	5.3 anni	β, γ
Iodio 131	8 giorni	β, γ
Bario 141	18.3 min	β, γ
Polonio 218	3.0 min	β, γ
Kripton 92	1.8 s	β, γ
Polonio 214	1.64×10^{-4} s	α, γ



La Radioattività

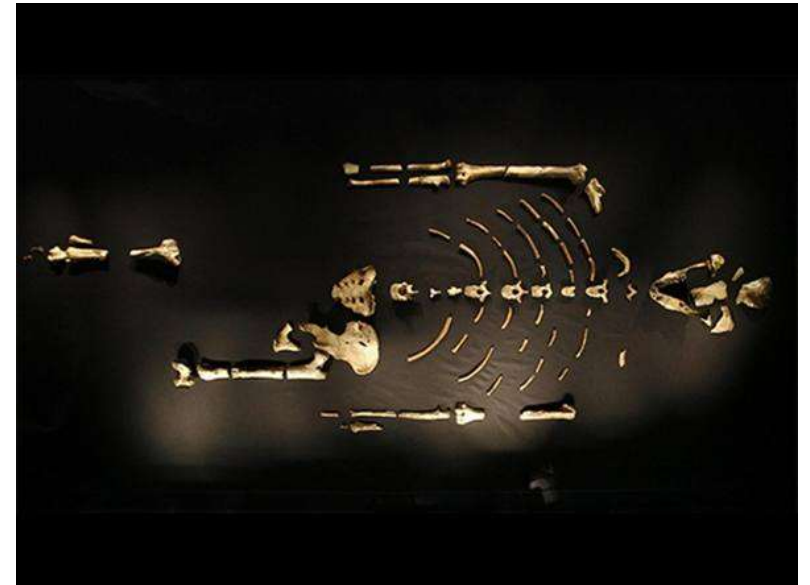
Non tutto è dannoso....

Una delle applicazioni dei radionuclidi è quella della datazione di reperti archeologici !

Per la datazione di eventi recenti si utilizza la datazione con ^{14}C , un radionuclide che viene prodotto costantemente nell'atmosfera: ha un **tempo di dimezzamento di 5.730 anni** e decade ad azoto-14 con emissioni beta.

Il rapporto nell'atmosfera tra ^{14}C e ^{12}C è costante e pari a $1,3 \times 10^{-12}$.

Durante la **fotosintesi** le piante utilizzano CO_2 , una parte della quale è costituita da ^{14}C , e la utilizzano per sintetizzare molti composti del carbonio che poi vengono trasferiti, attraverso la catena alimentare, agli altri animali



Le Famiglie Radioattive

Tre radionuclidi con **tempo di dimezzamento confrontabile con quello della terra** decrescono originando dei nuclei instabili che decadono a loro volta, creando, in questo modo, delle catene radioattive (Radionuclidi Primordiali):

Queste catene sono:

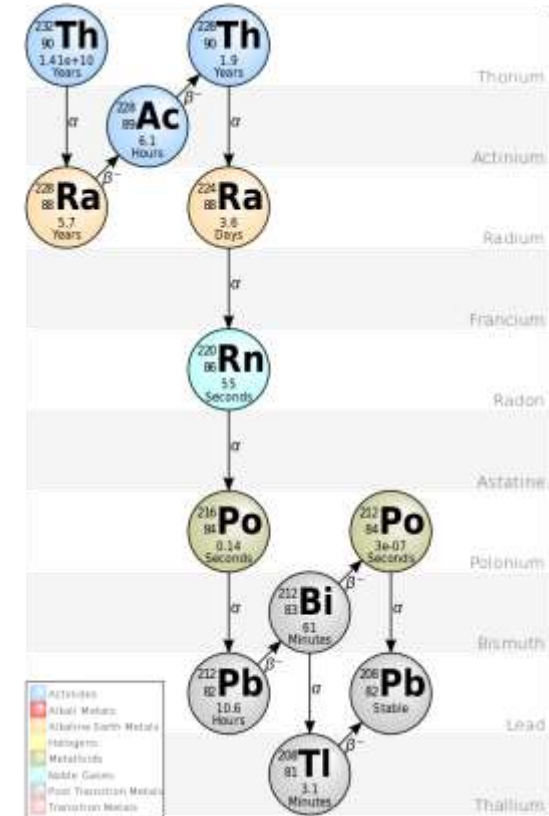
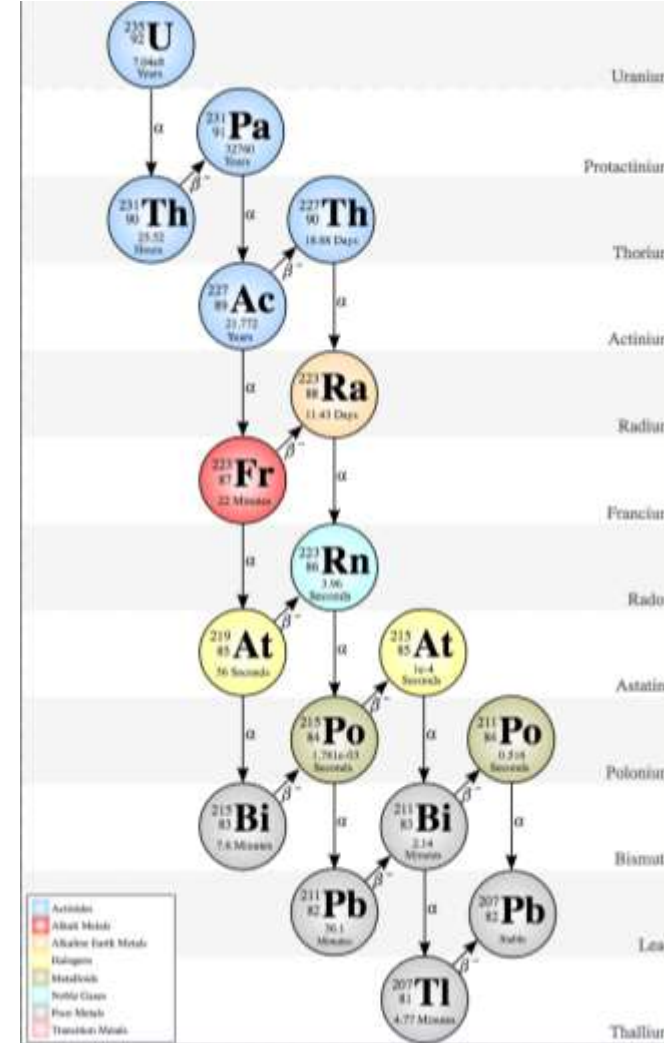
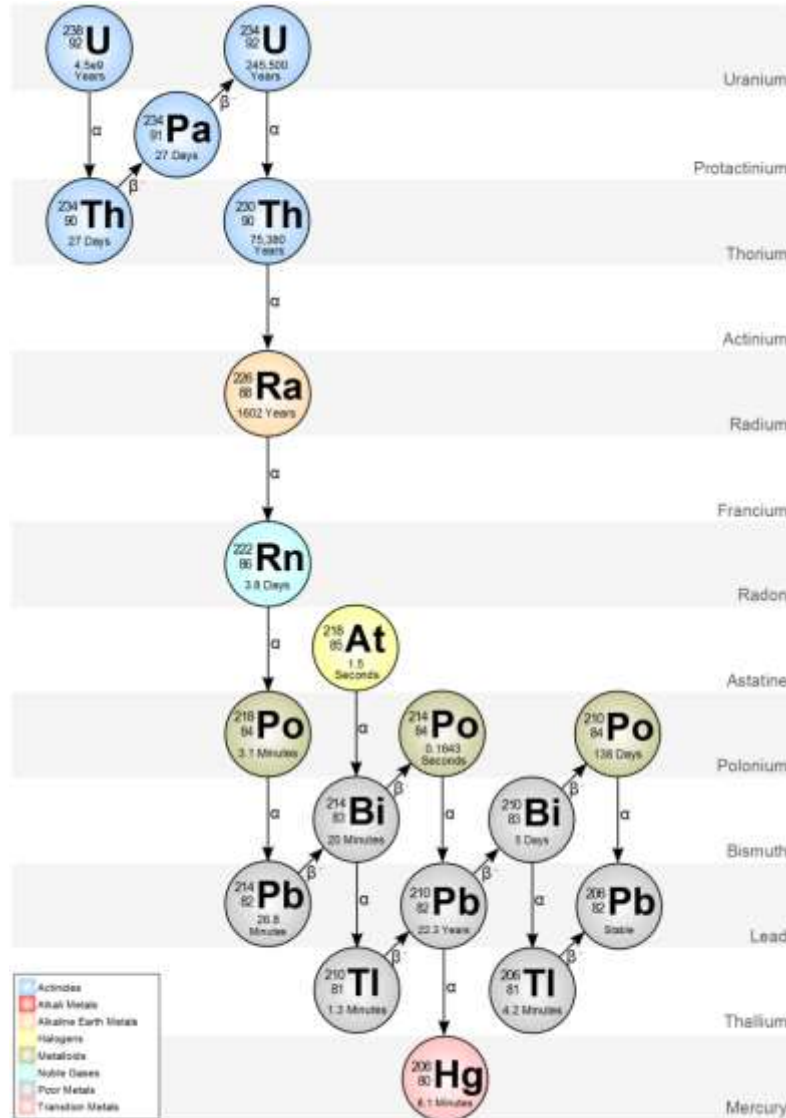
- **Famiglia dell' Urano-238** (abbondanza isotopica = 99.28%) $\tau = 4,49 \times 10^9$ anni
- **Famiglia del Torio-232** (abbondanza isotopica = 100%) $\tau = 1,04 \times 10^{10}$ anni
- **Famiglia dell' Uranio-235** (abbondanza isotopica = 0.72%) $\tau = 7.1 \times 10^8$ anni

La Radioattività

Le Famiglie Radioattive

Uranio-238

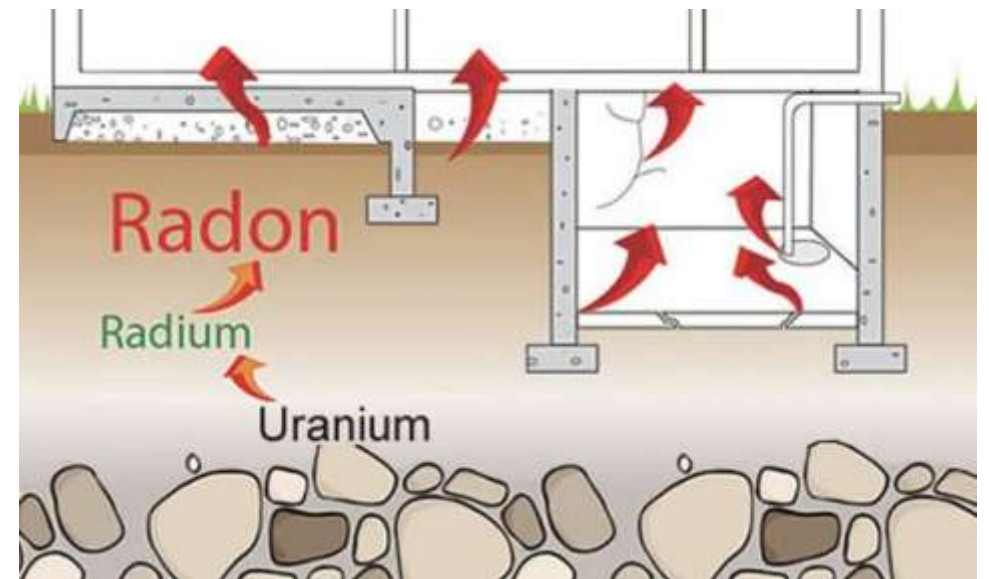
Radon



Il Radon

Il Radon è un gas radioattivo inodore, incolore ed insapore che deriva dalla catena di decadimento dell'Uranio-238.

La caratteristica del Radon è legata al fatto che i radionuclidi precedenti nella catena radioattiva sono tutti allo stato solido fino al **Radio-226**, che a sua volta decade in **Radon-222** che si trova in natura allo stato gassoso per cui può fuoriuscire dai materiali che lo contengono penetrando all'interno degli edifici. Per questo vedremo che il Gas Radon deve essere monitorato.



Interazione con la materia

Principali modalità di interazione con la materia

1 - Interazione delle Particelle cariche:

- Particelle Alfa
- Elettroni

2 - Interazione delle Onde Elettromagnetiche: i Fotoni

- L'Effetto Fotoelettrico
- L'Effetto Compton
- La Creazione di Coppie

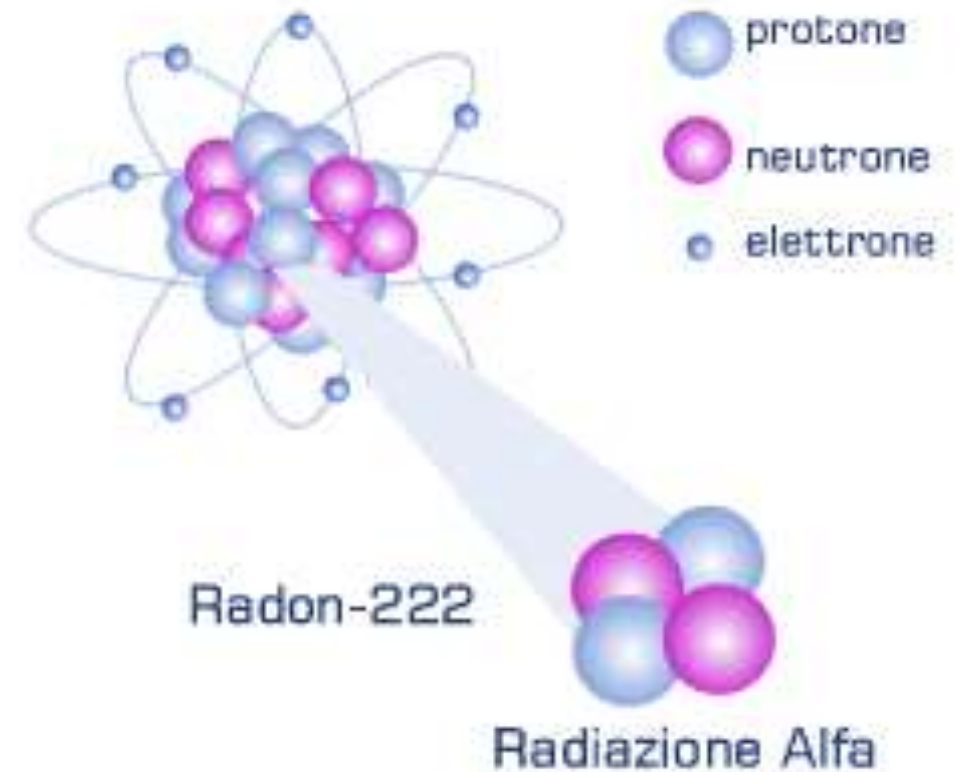
3 - Interazione dei Neutroni

Le Particelle Alfa

Sono prodotte dal decadimento degli atomi radioattivi e fuoriescono dal loro nucleo.

Sono composte da due neutroni e due protoni, per cui hanno una carica netta positiva data dalla presenza dei protoni.

In pratica è come se fossero un nucleo di Elio, senza la nube degli elettroni che lo circonda.

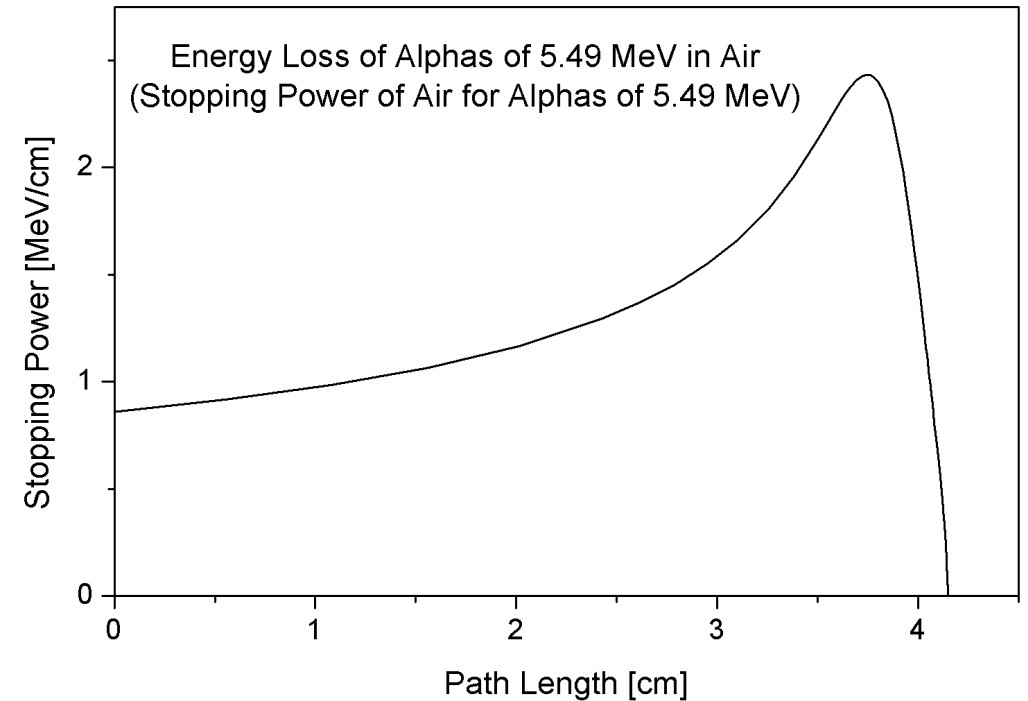


Le Particelle Alfa

La loro capacità di interazione con la materia è caratterizzata da una perdita di energia dapprima molto bassa, che però aumenta con l'approfondarsi della particella all'interno del mezzo con cui interagisce.

Questo fenomeno di maggior perdita di energia va incontro ad un picco – noto come

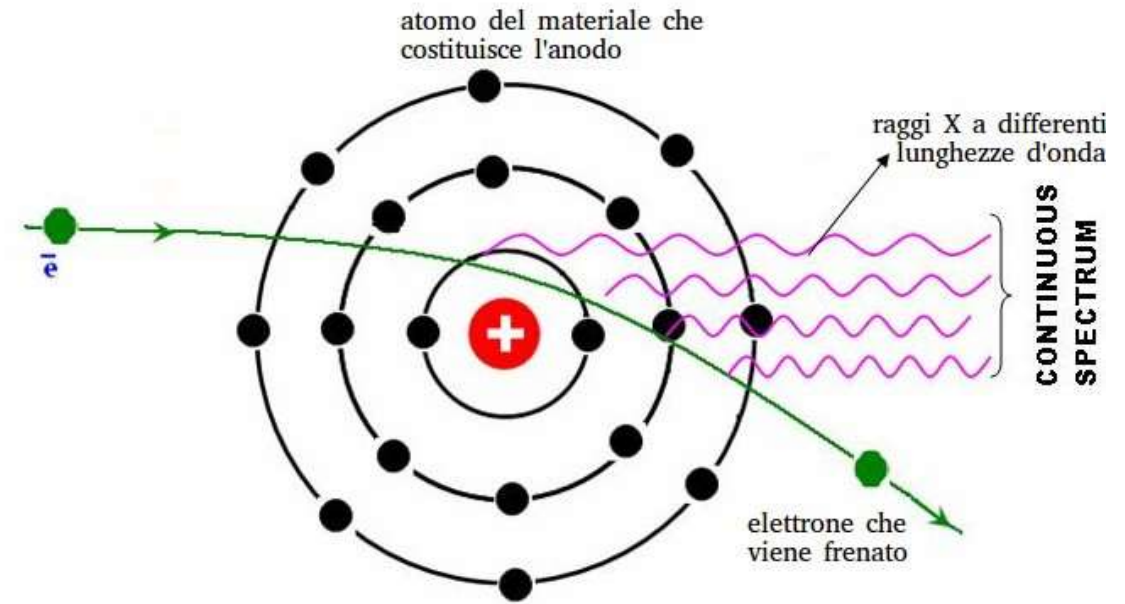
Picco di Bragg – per poi andare rapidamente a zero e perdendo tutta l'energia cinetica di cui la particella era dotata.



Gli Elettroni

Normalmente chiamati anche **Particelle Beta** sono caratterizzati da una metodica di interazione che prende il nome di **Effetto Bremsstrahlung** (effetto di frenamento), caratterizzato da uno **spettro continuo** cui si associano **picchi caratteristici**.

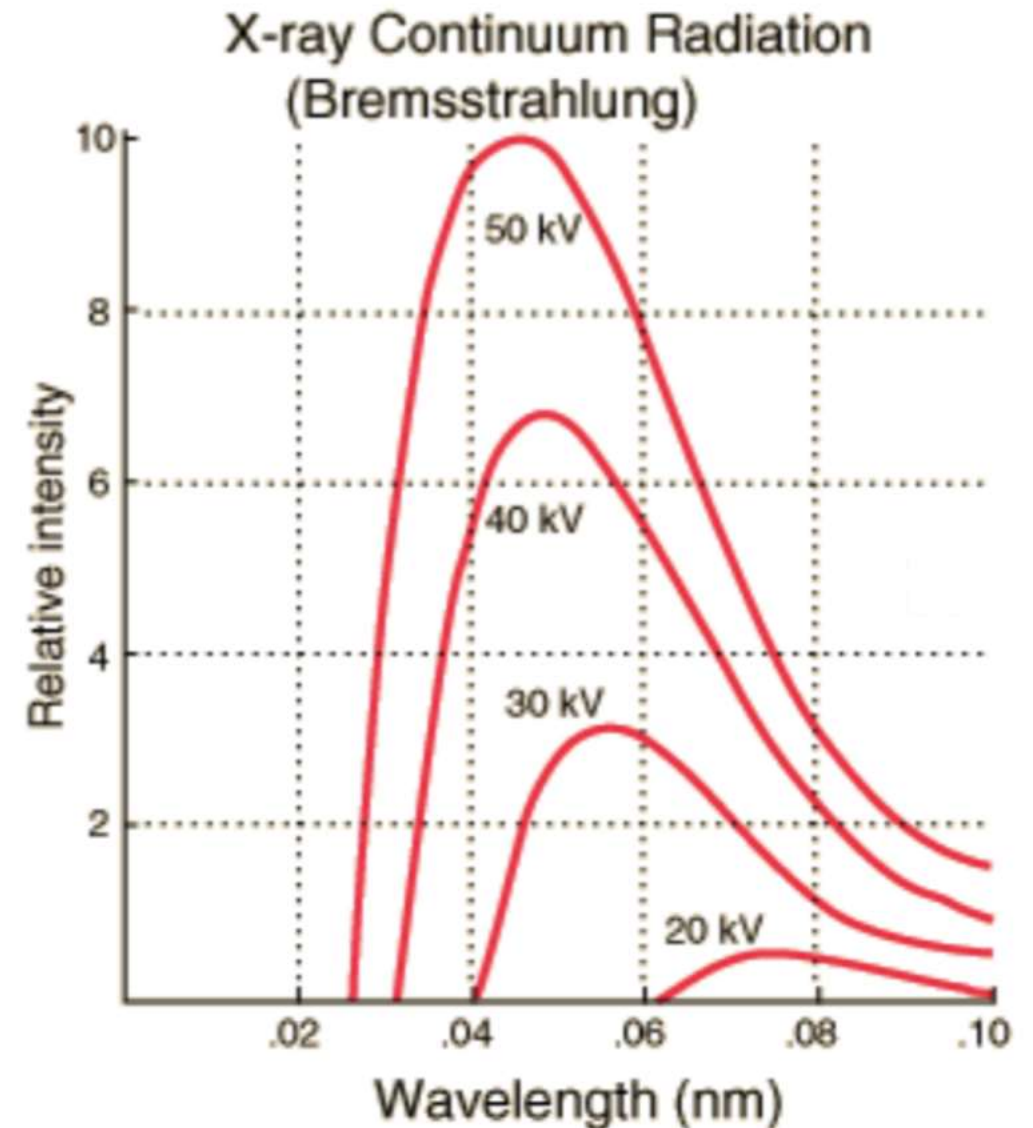
Ogni volta che una particella carica varia la propria accelerazione (centripeta) perde energia per effetto di frenamento con la produzione di Raggi X, in tutte le direzioni e di tutte le lunghezze d'onda.



Gli Elettroni

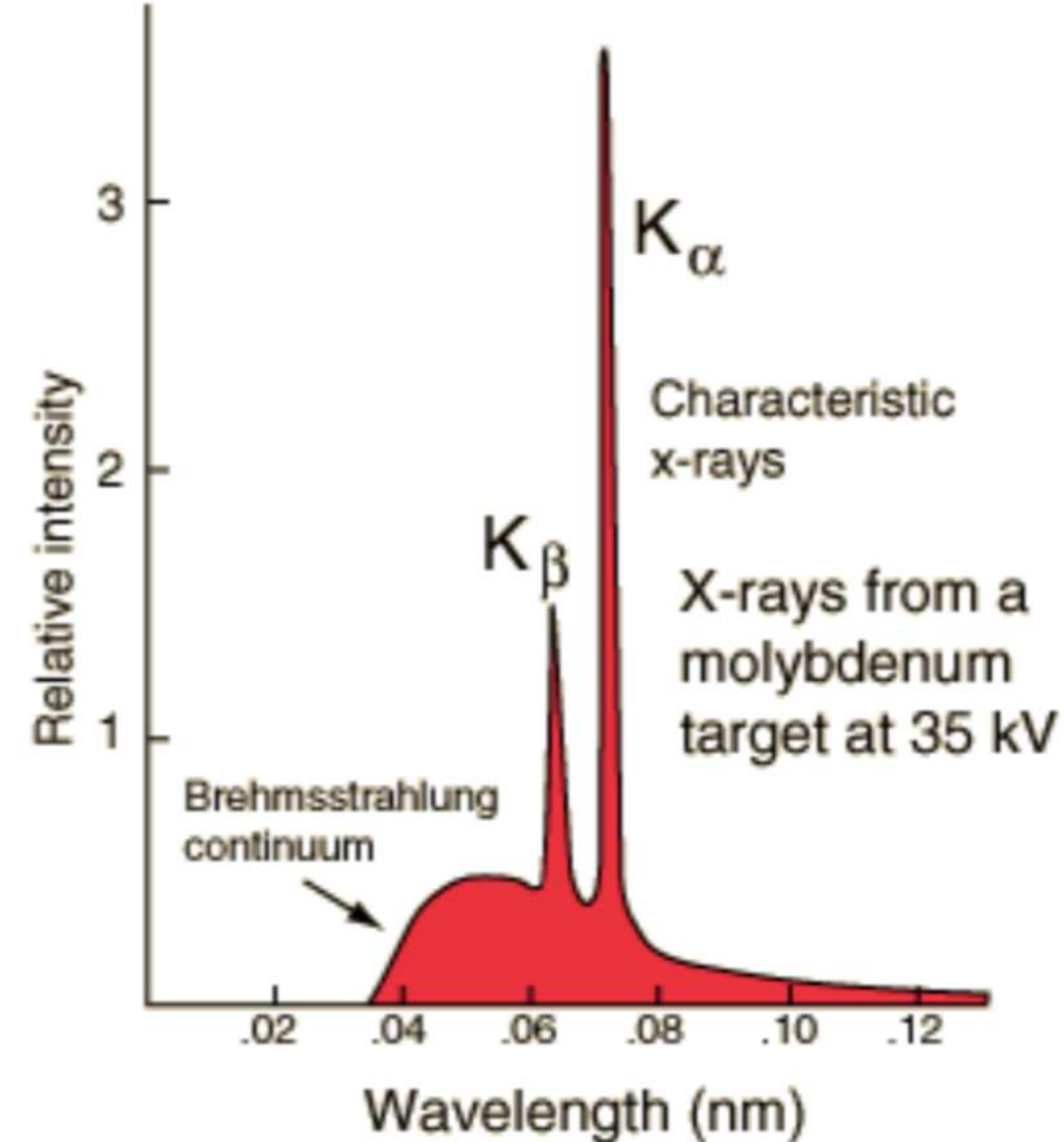
Se ipotizziamo di avere un elettrone sottoposto ad una accelerazione per mezzo di una differenza di potenziale che perde improvvisamente tutta la sua energia per Effetto Bremsstrahlung produrrà un Raggio X di energia massima pari a:

$$E_{R_x} = h\nu_{max} = h \frac{c}{\lambda_{min}}$$



Gli Elettroni

Qualora l'elettrone dovesse colpire uno degli elettroni della materia con cui interagisce, scalzerebbe quest'ultimo e si avrebbe una produzione di Rx associati ai salti quantici fatti dagli elettroni che si trovano sugli orbitali più esterni verso l'orbitale libero per il principio di minimizzazione dell'energia, così da avere dei picchi associati alla produzione di Rx con spettro continuo.



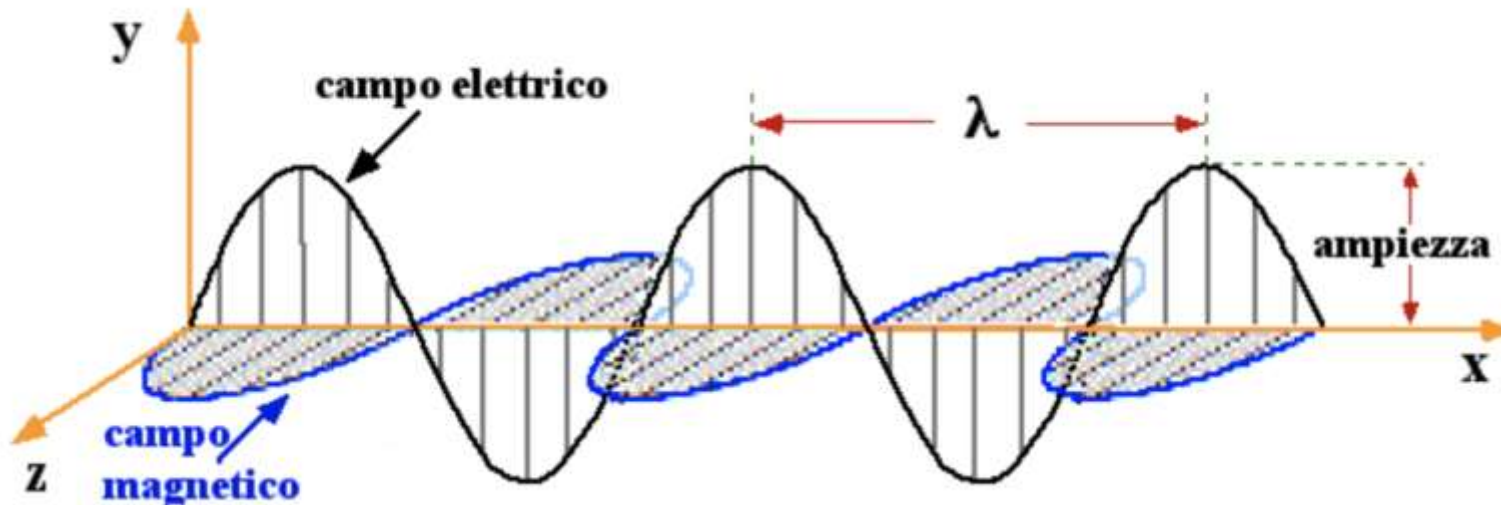
Le Onde Elettromagnetiche

Le Onde Elettromagnetiche sono delle onde composte da **campo elettrico** e **campo magnetico variabili** che si propagano secondo la direzione del **Vettore di Pointing**.

$$\vec{P} = \vec{E} \times \vec{H} = \frac{\vec{E} \times \vec{B}}{\mu}$$

Con: H = campo magnetico nella materia

μ = permeabilità magnetica



Le Onde Elettromagnetiche

In generale la propagazione di un'onda elettromagnetica nello spazio è caratterizzata da una funzione d'onda:

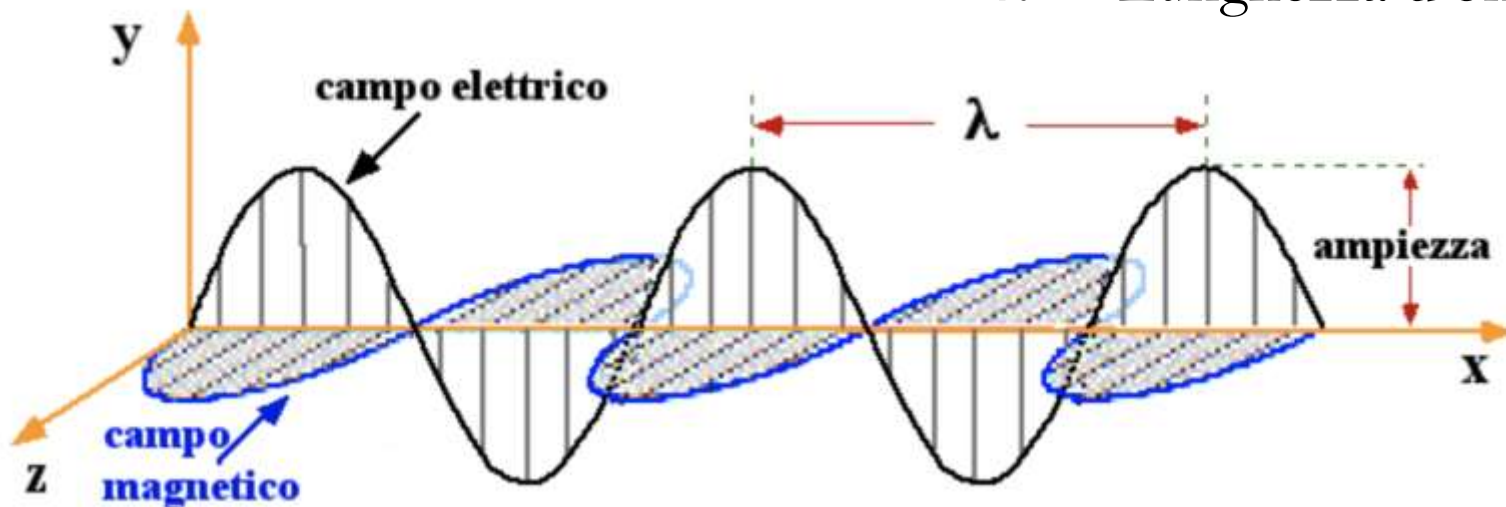
$$\Psi(x,t) = A \cdot e^{\pm j\omega t + kt}$$

A = Ampiezza dell'onda

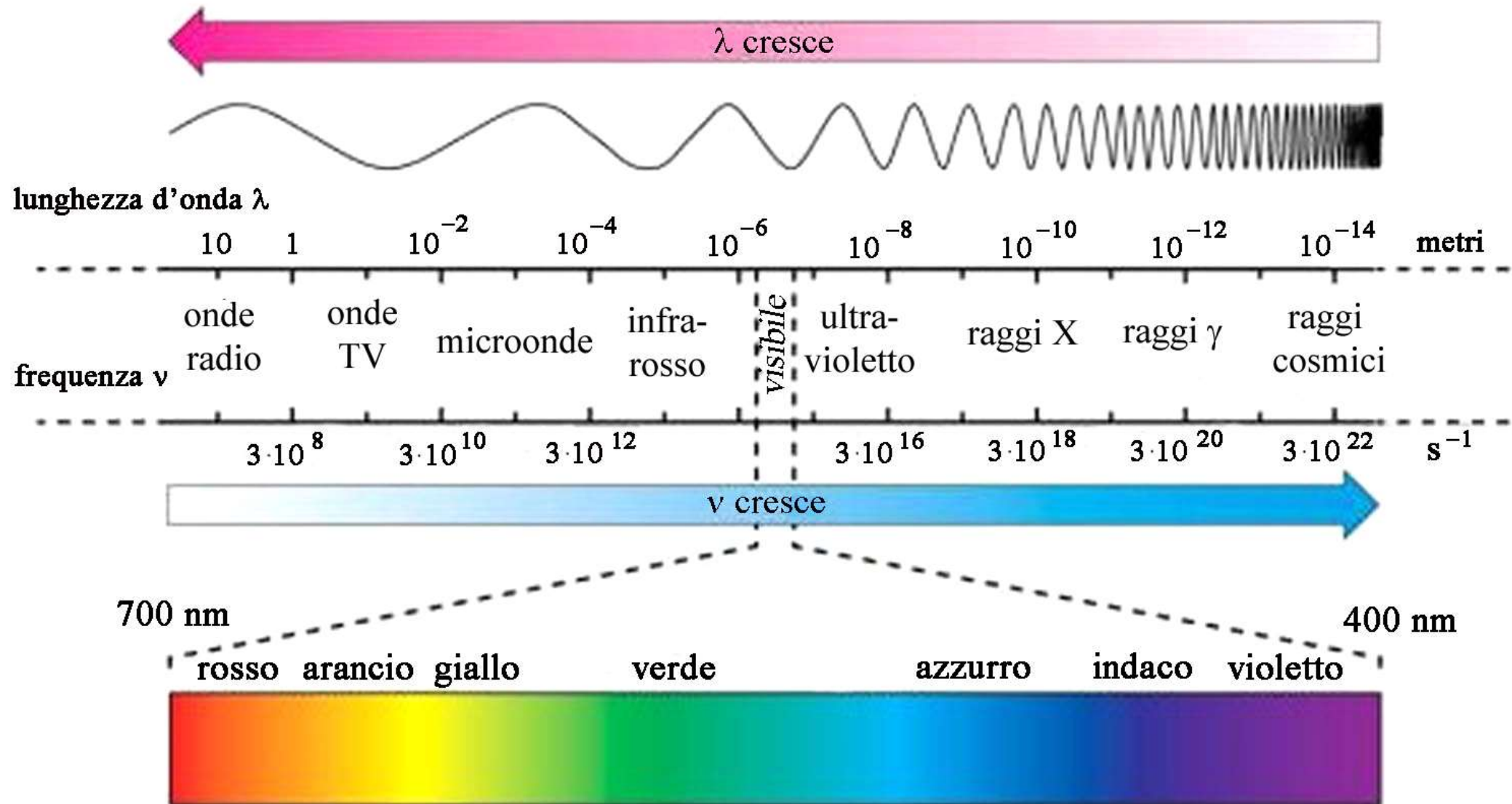
Con: ω = Frequenza angolare

K = Vettore d'onda della radiazione

λ = Lunghezza d'onda della radiazione



Le Onde Elettromagnetiche



Le Onde Elettromagnetiche

Le principali grandezze che legano le suddette grandezze sono:

$$k = \frac{2\pi}{\lambda} \quad \omega = 2\pi\nu$$

ω = frequenza di oscillazione

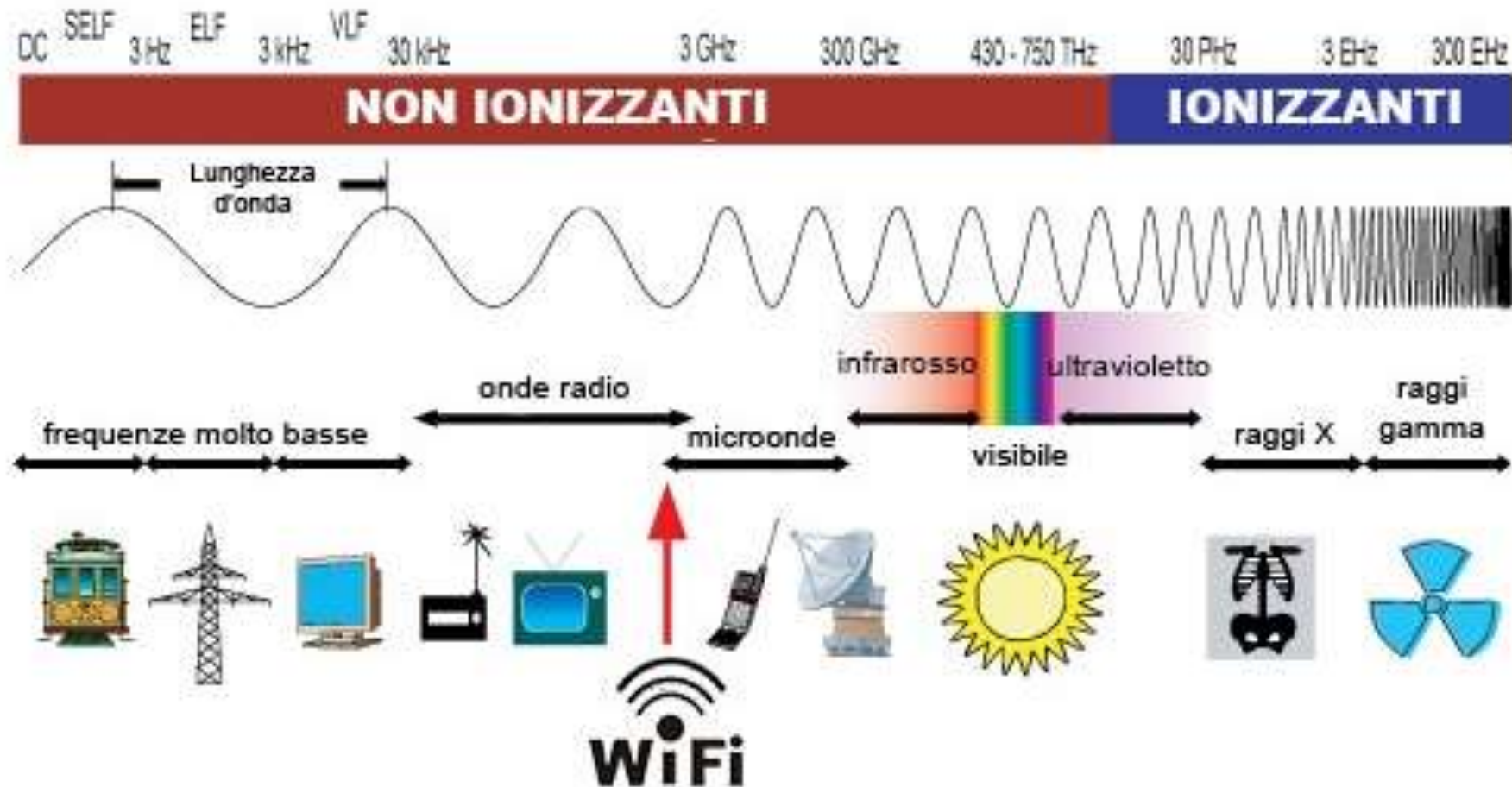
La frequenza di oscillazione è a sua volta legata alla lunghezza d'onda della relazione della velocità della propagazione della radiazione nel vuoto ($c \approx 3 \cdot 10^8$ m/s) tramite l'equazione:

$$\lambda\nu = c$$

Mentre la relazione che lega l'energia alla frequenza tramite la costante di Planck è:

$$E = h\nu$$

Lo Spettro Elettromagnetico



Convenzionalmente
si definiscono
ionizzanti le onde
elettromagnetiche
che hanno

$$\lambda < 100 \text{ nm}$$

Ovvero:

$$E > 12,40 \text{ eV}$$

Le Onde Elettromagnetiche: I fotoni

Planck ipotizzò che le radiazioni elettromagnetiche trasportano energia in un modo discontinuo e sotto forma di **Quanti** di una precisa **Energia**, proporzionale alla **Frequenza** della radiazione, chiamati **FOTONI**

$$E = h\nu = h\frac{c}{\lambda}$$

Formalmente distinguiamo tra:

- **Raggi X**
 - Prodotti da **transizioni degli e⁻** degli orbitali legati all'atomo
 - **Bremsstrahlung**
- **Raggi Gamma**
 - Emessi da **nuclei atomici radioattivi** congiuntamente a particelle
 - **Conversione Interna**

Le Onde Elettromagnetiche: L'Effetto Fotoelettrico

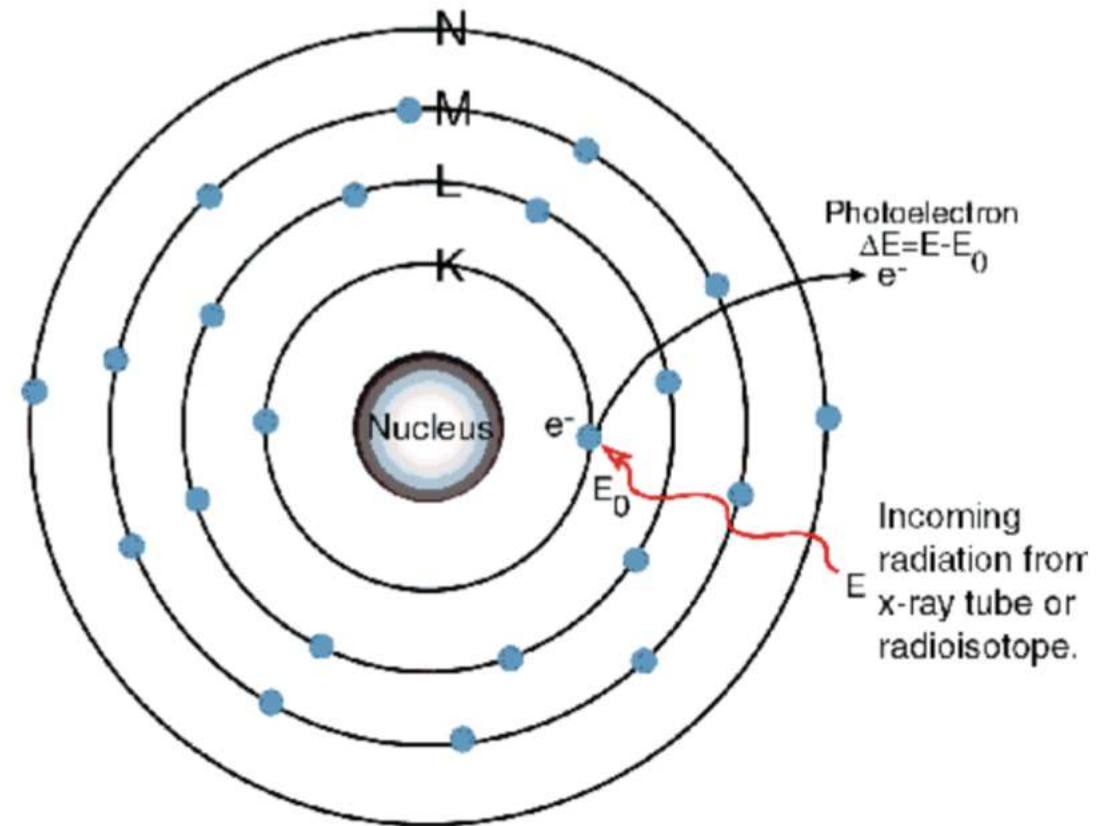
L'Effetto Fotoelettrico rappresenta l'emissione di elettroni da una superficie solitamente metallica, quando questa viene colpita da una radiazione elettromagnetica con una certa frequenza. Pertanto avremo che:

- 1) Sopraggiunge un fotone
- 2) Interagisce con un e^- orbitale
- 3) Fuoriuscita dell' e^- con Energia Cinetica

$$E_C = E - E_0$$

E_0 è stabilito dalla Legge di Moseley ed è pari a:

$$E_0 = \varphi \approx 13,6 \frac{Z - C_x}{n^2} = [eV]$$



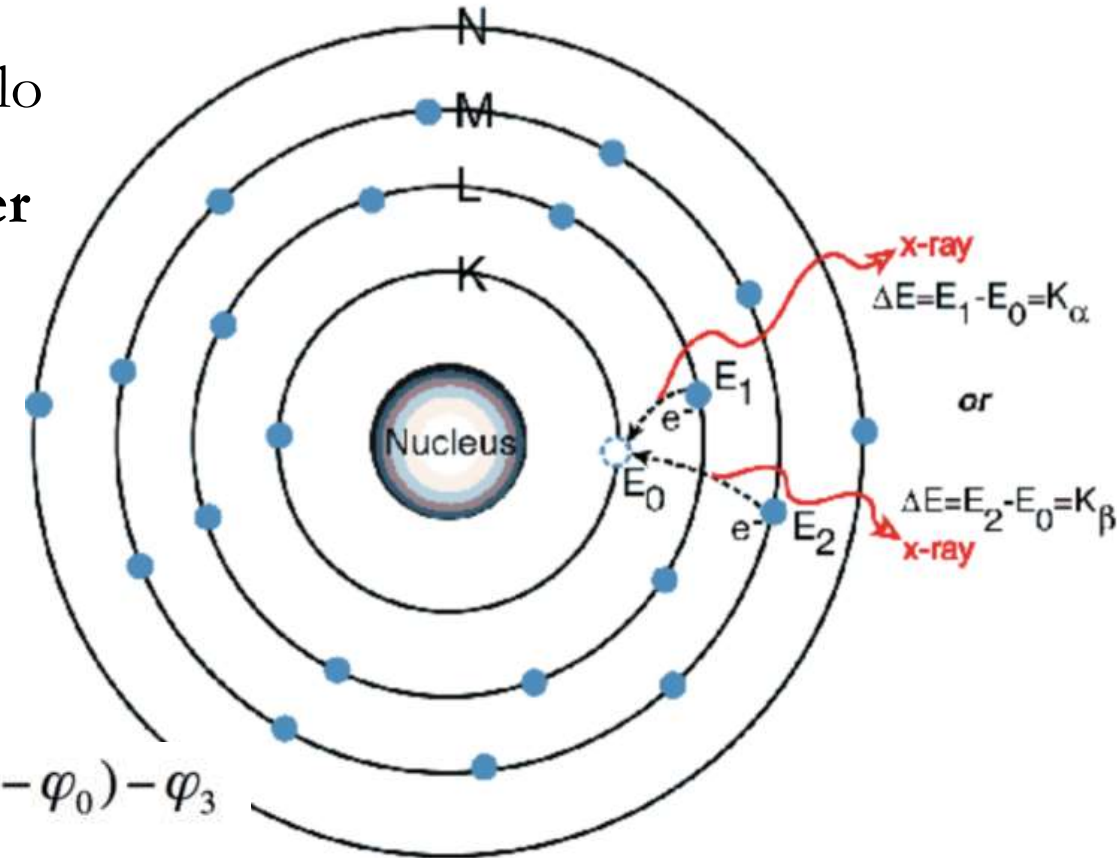
Le Onde Elettromagnetiche: L'Effetto Fotoelettrico

Se l'interazione riguarda i livelli più profondi, cioè i primi orbitali atomici c'è un riarrangiamento di e^- con emissione di Raggi X di **Fluorescenza**

Se i Rx così prodotti colpiscono un nuovo e^- facendolo fuoriuscire questo prende il nome di **Elettrone Auger**

Ovvero:

- 1) Ipotizziamo che sia l' e^- del livello 2 a occupare il livello che si è liberato su 0
- 2) Il Rx prodotto potrà scalzare un e^- sul livello 3
- 3) L' e^- avrà una Energia Cinetica $E_C = h\nu - E_3 = (\varphi_2 - \varphi_0) - \varphi_3$



Le Onde Elettromagnetiche: L'Effetto Fotoelettrico

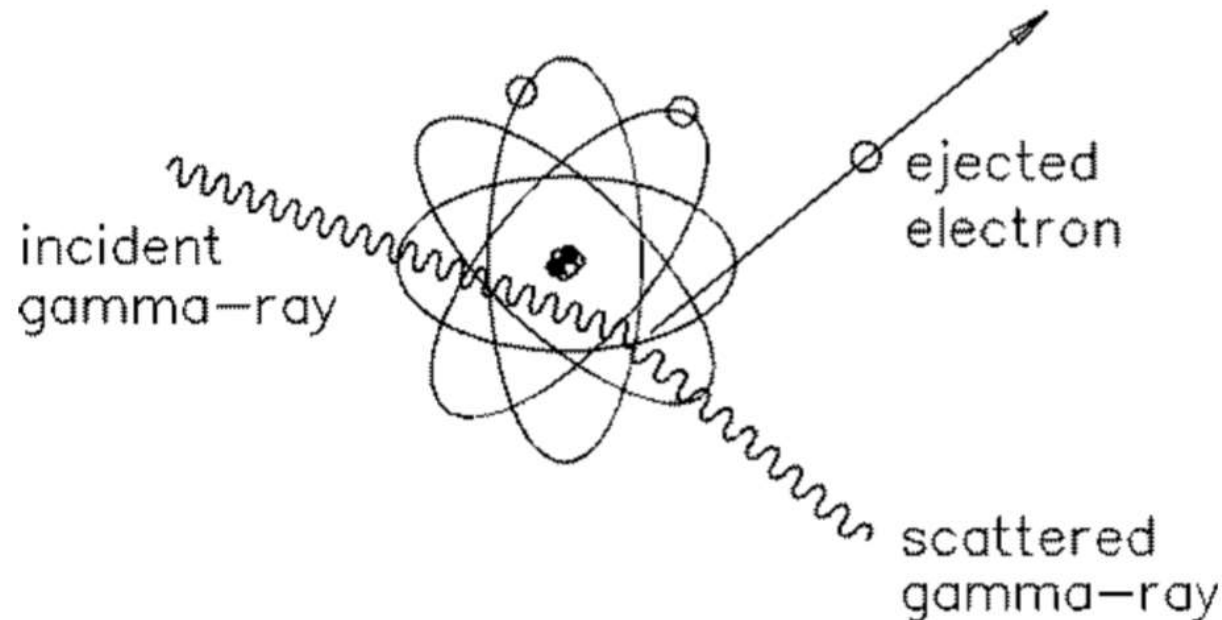
- L'Effetto Fotoelettrico è un effetto di **Assorbimento**
- E' **predominante a basse energie $E < 0,5 \text{ MeV}$**
- La probabilità **cresce al crescere di Z ($\approx Z^5$)**

Seppure per elementi pesanti resta predominante fino a 4 MeV

- Avviene più probabilmente con gli e^- del livello K (80%)

Le Onde Elettromagnetiche: L'Effetto Compton

L'Effetto Compton rappresenta una modalità di diffusione elastica di un fotone su un elettrone atomico. La probabilità maggiore che il fenomeno si verifichi si ha con gli elettroni dei livelli esterni che, vista la bassa energia di legame, possono essere ben approssimato ad elettroni liberi.



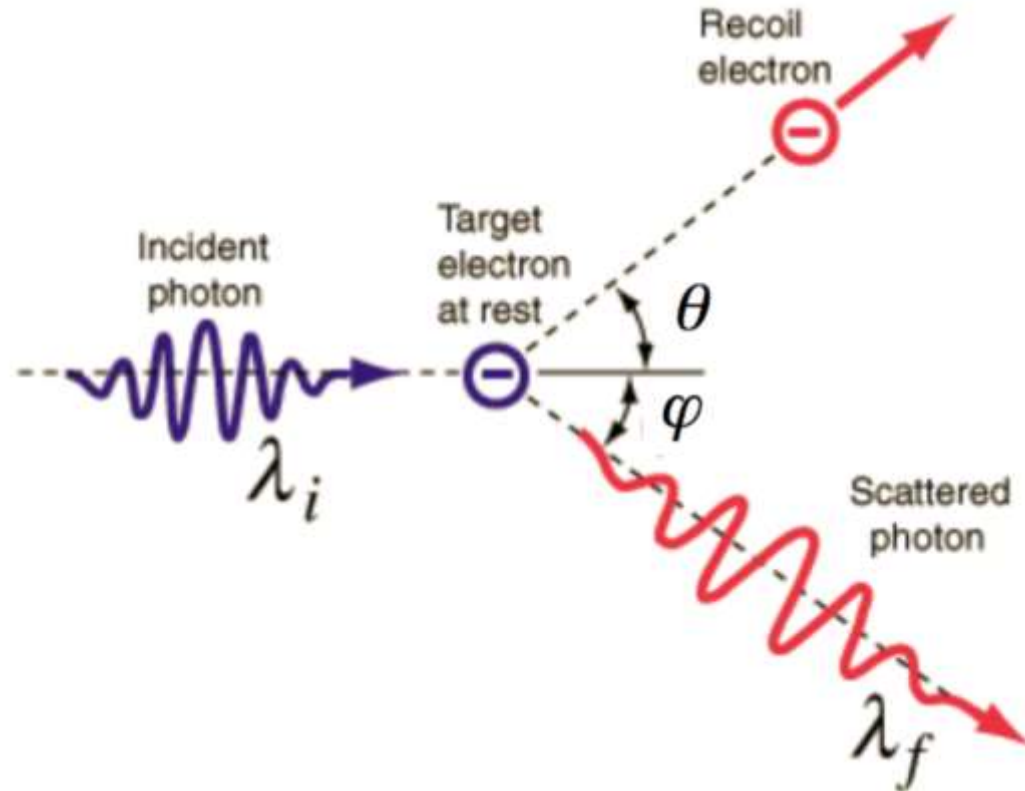
Le Onde Elettromagnetiche: L'Effetto Compton

Il fotone incidente con Energia E_i viene diffuso con una energia paria:

$$E_{\gamma_f} = \frac{E_{\gamma_i}}{1 + \left(\frac{E_{\gamma_i}}{m_e c^2} \right) (1 - \cos(\varphi))}$$

Dove:

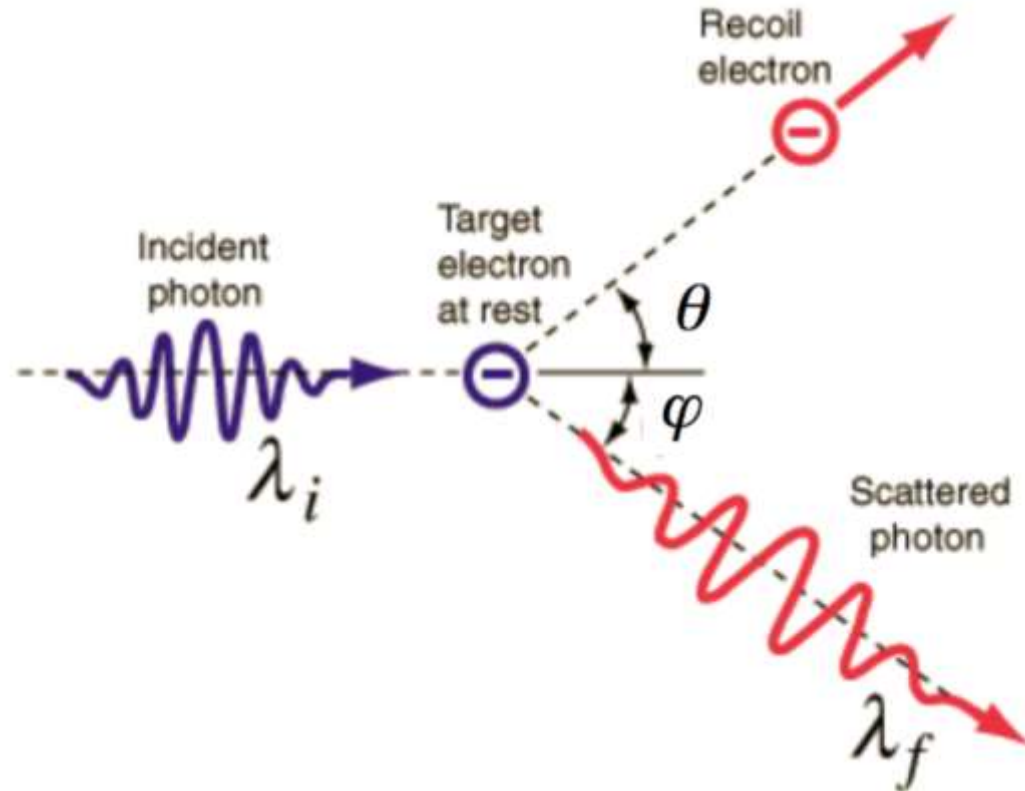
φ = Angolo di diffusione



Le Onde Elettromagnetiche: L'Effetto Compton

L'elettrone acquisisce una Energia Cinetica pari a:

$$E_{C_{e^-}} = \frac{E_{\gamma_i}^2}{E_{\gamma_i}^2 + \left(\frac{m_e c^2}{1 - \cos(\varphi)} \right)} - \varphi =$$
$$= E_{\gamma_i} - E_{\gamma_f} - \varphi$$



Le Onde Elettromagnetiche: L'Effetto Compton

- L'Effetto Compton è un effetto di **Diffusione Elastica**
- E' **predominante a medie energie** $0,8 \text{ MeV} < E < 4 \text{ MeV}$
- La probabilità **cresce al crescere di Z** ($\approx Z/E$)
- Il **valore massimo di un e⁻ Compton** si ha quando il fotone è retrodiffuso

$$E_{C_{e^-}} = E_{\gamma_i} - E_{\gamma_f} \Big|_{\theta=180^\circ} = 0,0242(1 - \cos\theta) \Big|_{\theta=180^\circ} = 0,0482 \text{ MeV}$$

- La frazione diffusa dall'Effetto Compton può andare a Rafforzare il fascio nella direzione di attenuazione (**Effetto di Build-Up**)

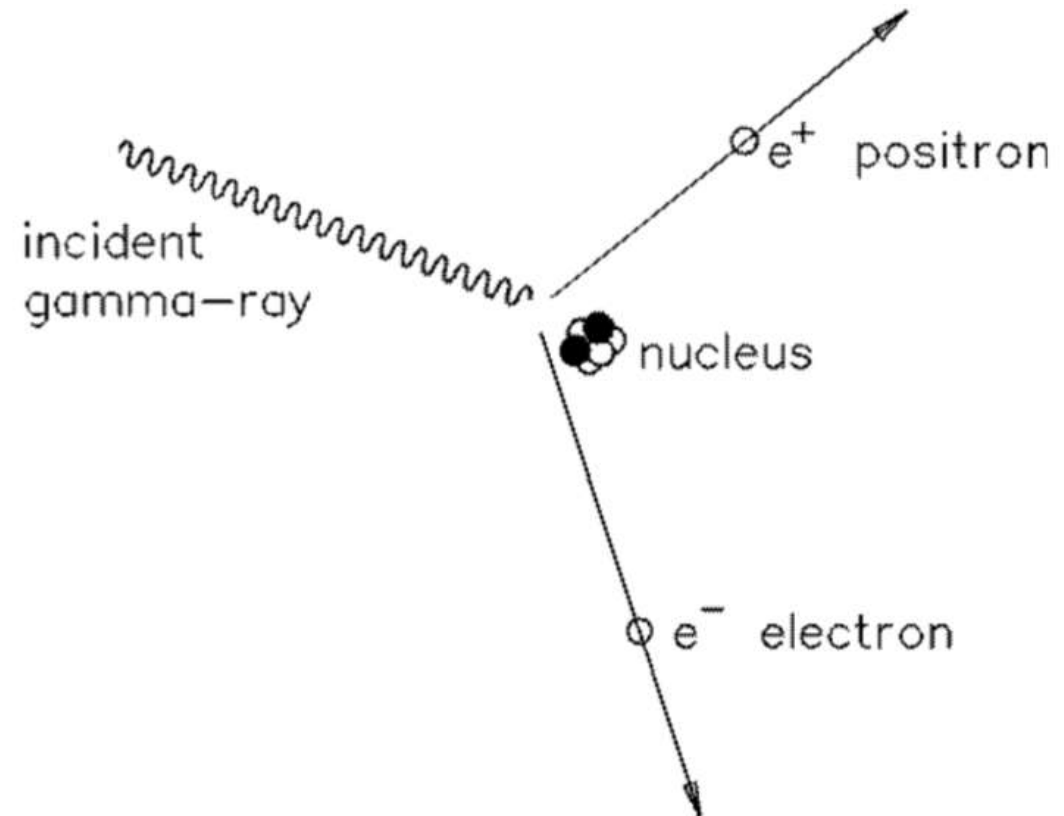
Le Onde Elettromagnetiche: La Creazione di Coppie

La **Produzione di Coppie** o **Creazione di Coppie Elettrone-Positrone** è un processo di assorbimento in cui un fotone interagisce con la materia convertendo la sua energia in materia (e^-) e antimateria (e^+).

La relazione di Einstein $E=mc^2$ ci dice che il processo è a soglia con **Energia**

Minima pari a 1,022 MeV

$$\begin{aligned} E_{e^+} + E_{e^-} &= E_\gamma - 2m_e c^2 = \\ &= h\nu - 1,02 \text{ MeV} \end{aligned}$$



Le Onde Elettromagnetiche: La Creazione di Coppie

- La Creazione di Coppie è un effetto di **Assorbimento**
- E' **predominante a alte energie $E > 5 \text{ MeV}$**
- La probabilità **cresce al crescere di Z ($\approx Z^2$)**
- La produzione è a soglia con **energia minima del fotone incidente pari a $1,022 \text{ MeV}$**
- Il Positrone prodotto va incontro ad **ANNICHILAZIONE** con il primo elettrone libero
che trova producendo **due fotoni antiparalleli di energia pari a $0,511 \text{ MeV}$**

Le Onde Elettromagnetiche: probabilità di interazioni

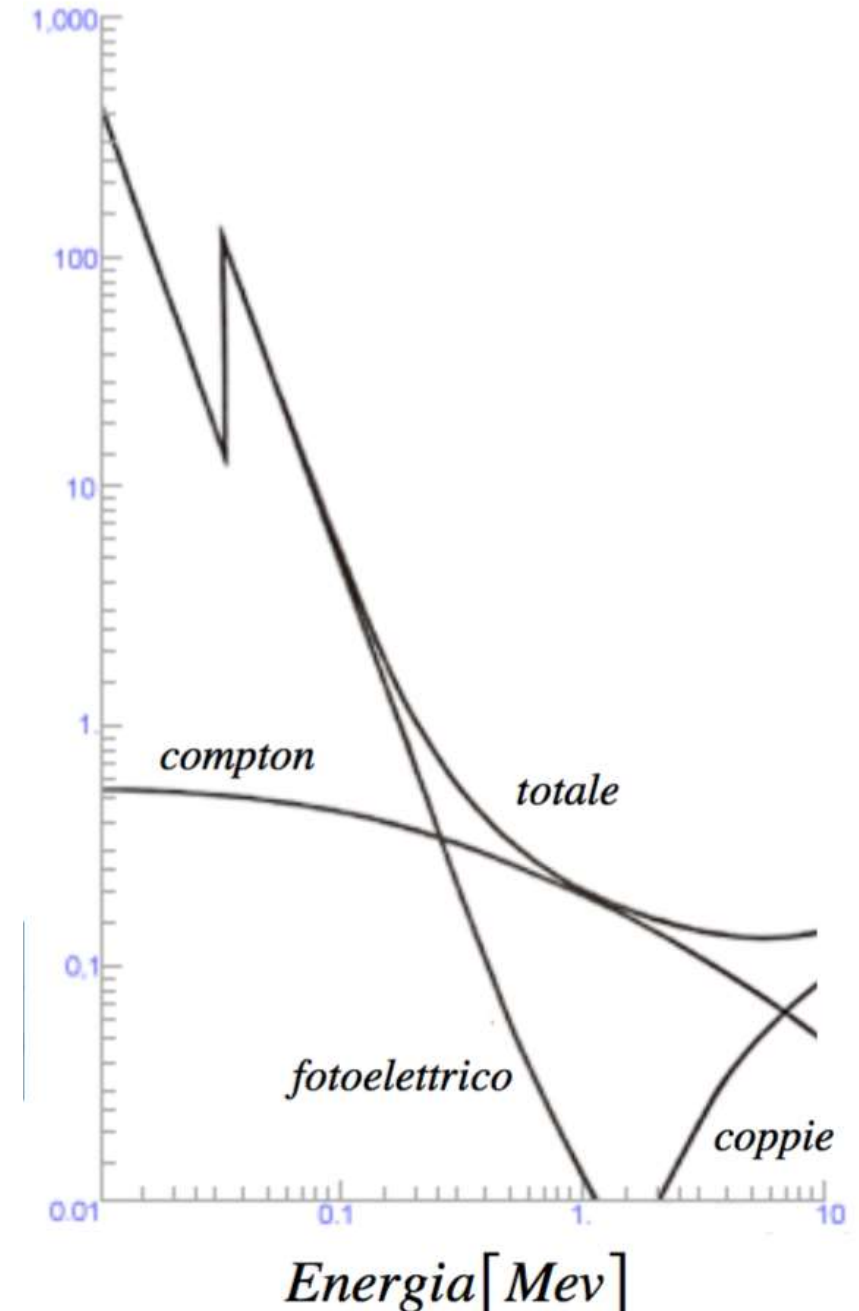
Energia del fotone	Fotoelettrico	Compton	Coppie	
10 keV	95%	5%	0%	
25 keV	60%	40%	0%	mammografia
60 keV	20%	80%	0%	
120 keV	5%	95%	0%	diagnostica
4 MeV	1%	70%	30%	
10 MeV	0,001%	60%	40%	radioterapia
24 MeV	0,0000001%	10%	90%	

La Sezione d'Urto

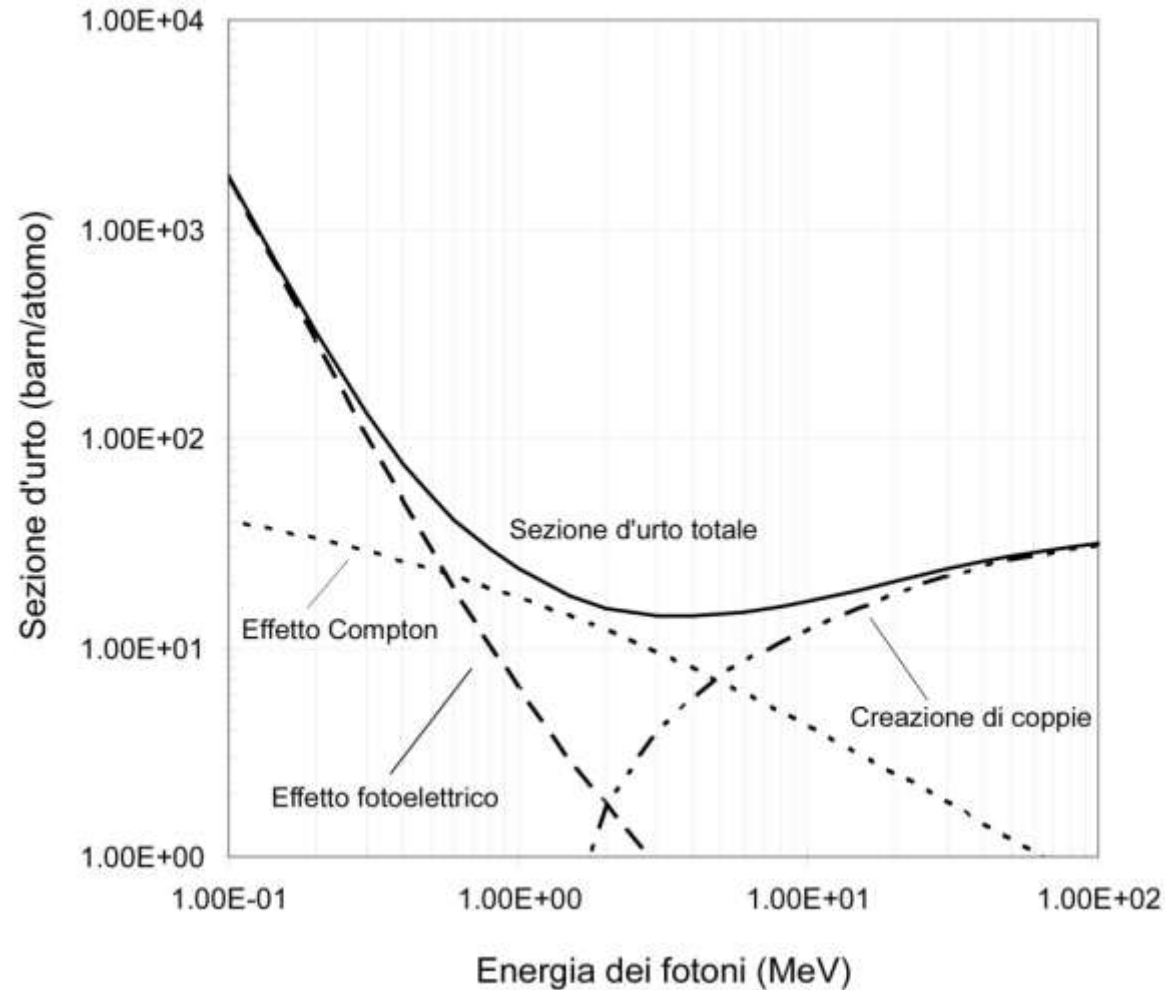
L'involuppo dei 3 effetti da l'andamento della probabilità di interazione con la materia

Il parametro che descrive la probabilità di interazione con la materia prende il nome di SEZIONE D'URTO ed è pari alla somma delle probabilità che il singolo tipo di evento si verifichi per una data energia.

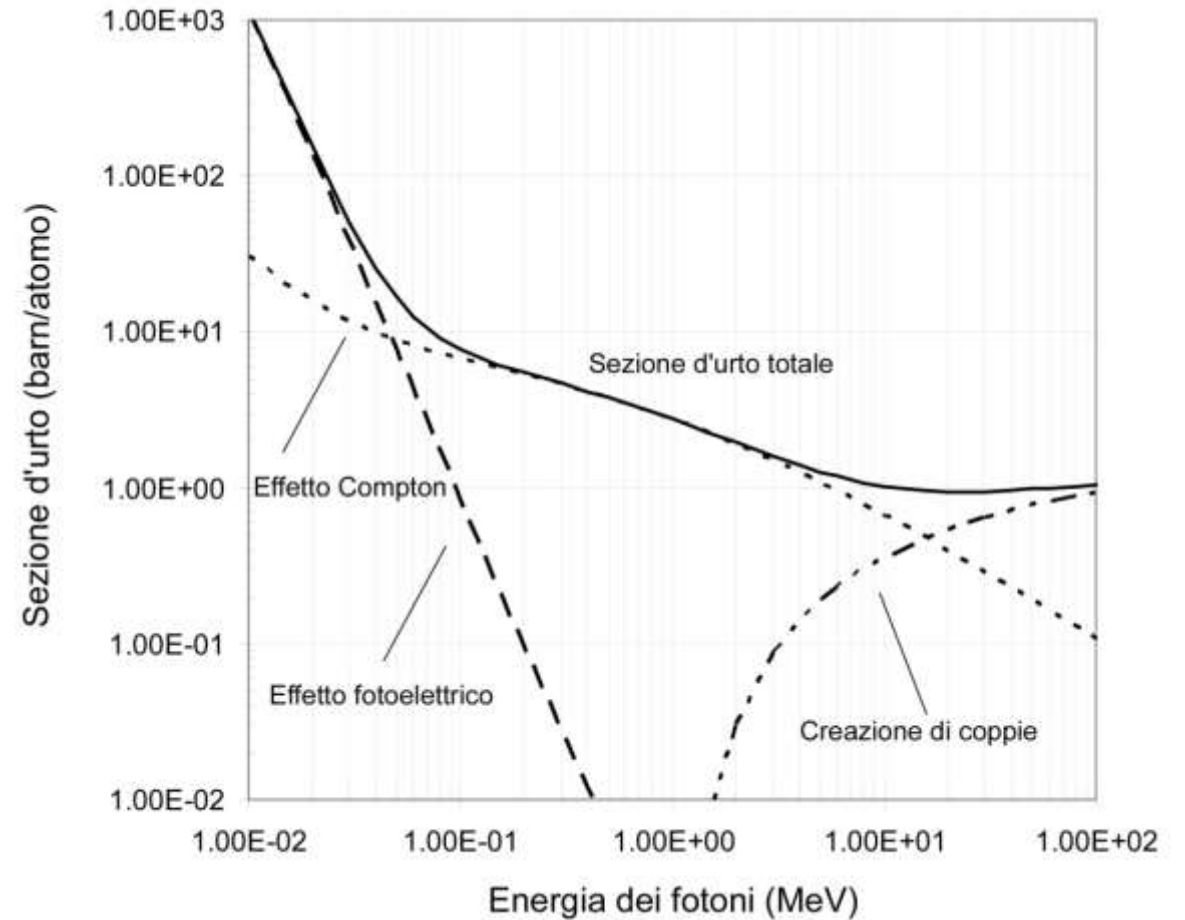
$$\sigma_{tot} = \sigma_{fot} + \sigma_{com} + \sigma_{cop}$$



La Sezione d'Urto è funzione del materiale

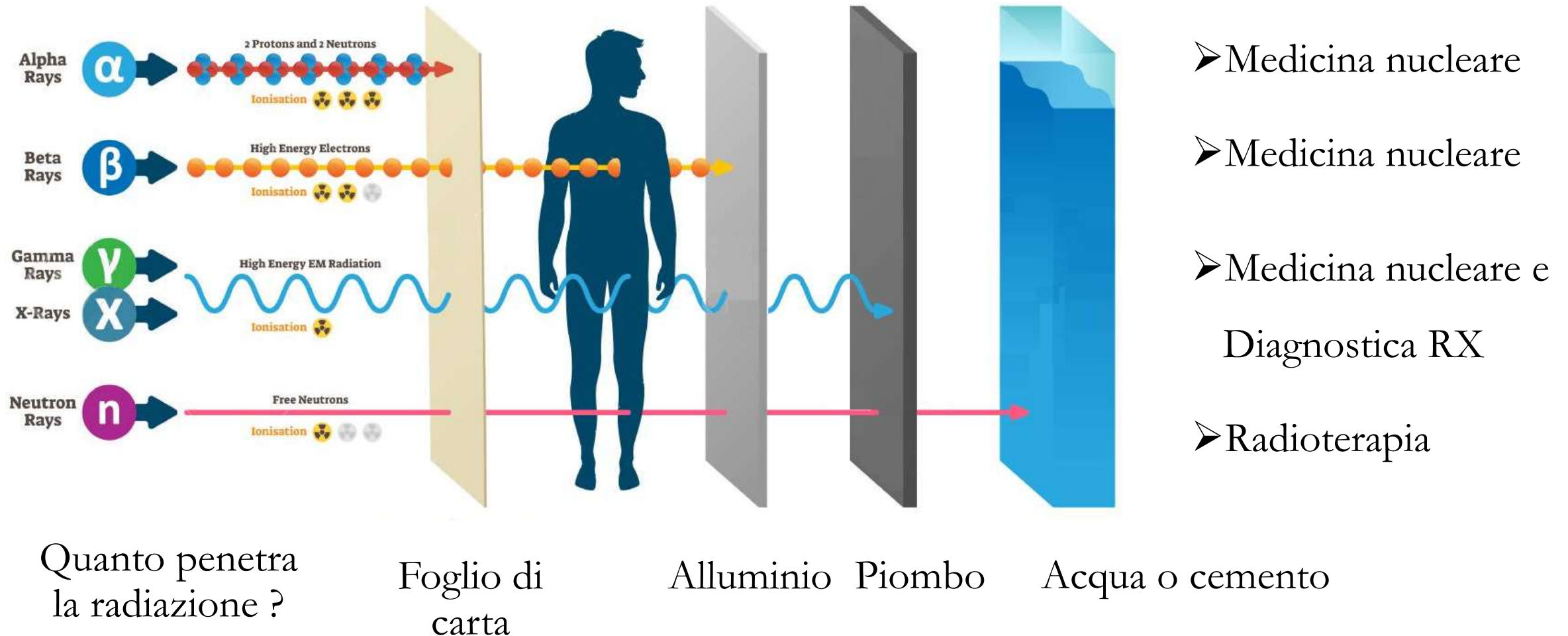


Sezione d'urto su piombo ($Z=82$).



Sezione d'urto su alluminio ($Z=13$).

Tipologia de radiazione e potere di penetrazione



Apparecchiature RX

Apparecchiature RX

Schema di principio di una sala contenente un'apparecchiatura Rx

1 – Tubo Generatore di Raggi X

Cuffia

Anodo – Catodo (filamento)

Olio

Dispositivi limitatori

2 – Alimentazione

3 – Tavolo di Comando

Tensione (kV_p)

Corrente del tubo (mA)

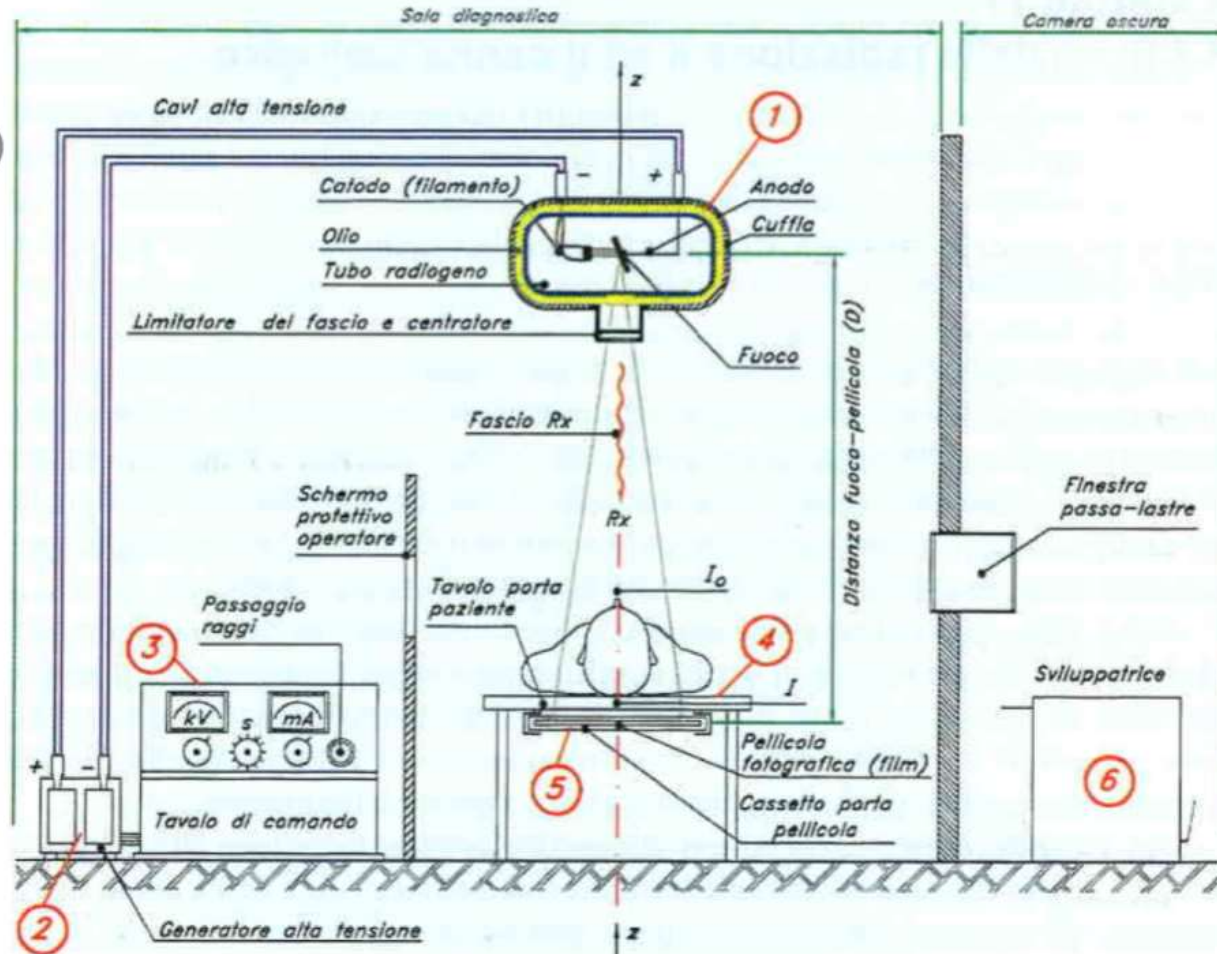
Tempo di Esposizione (s)

4 – Tavolo porta paziente

5 – Rilevatore di radiazioni

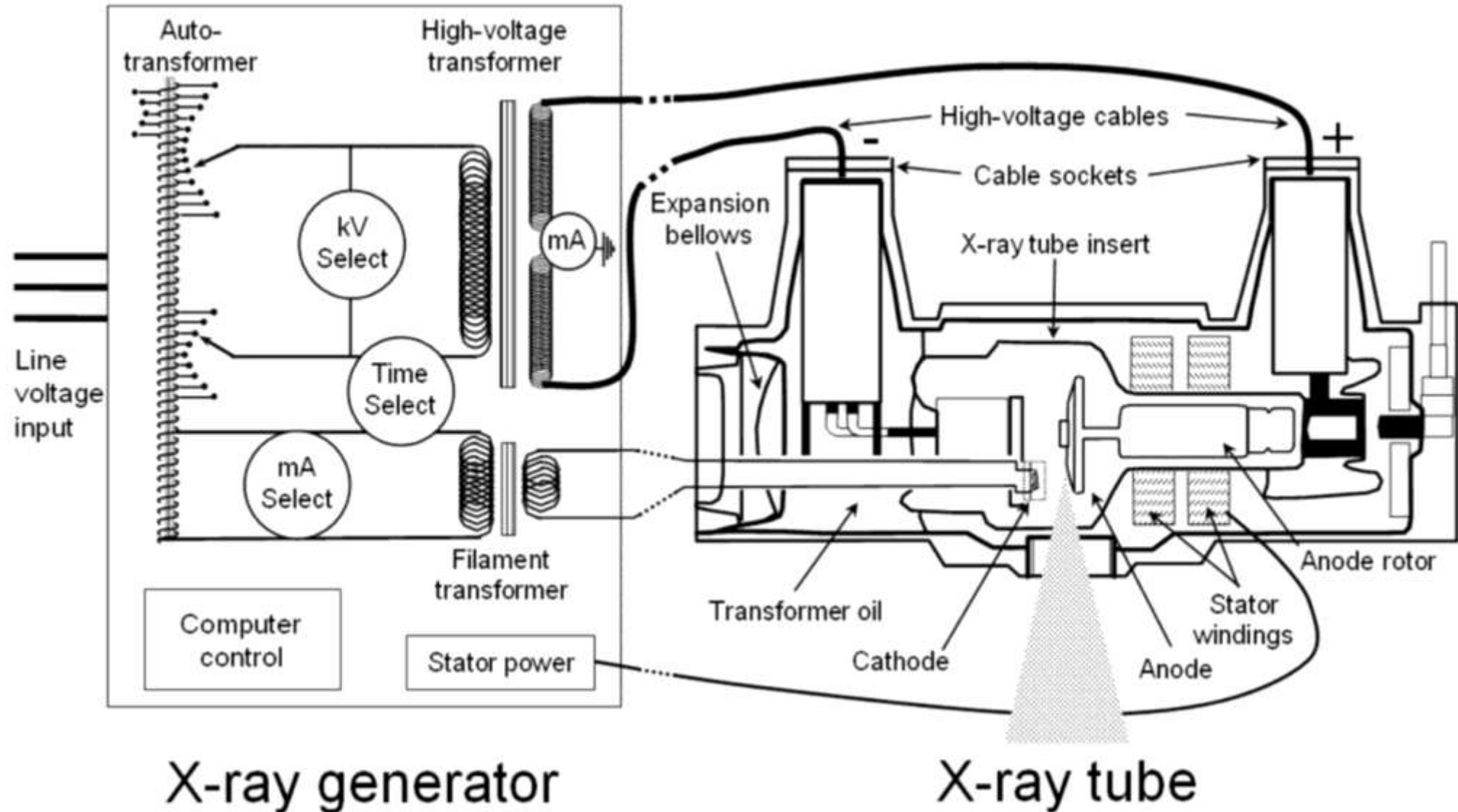
Pellicola fotografica

6 – Sviluppatrice

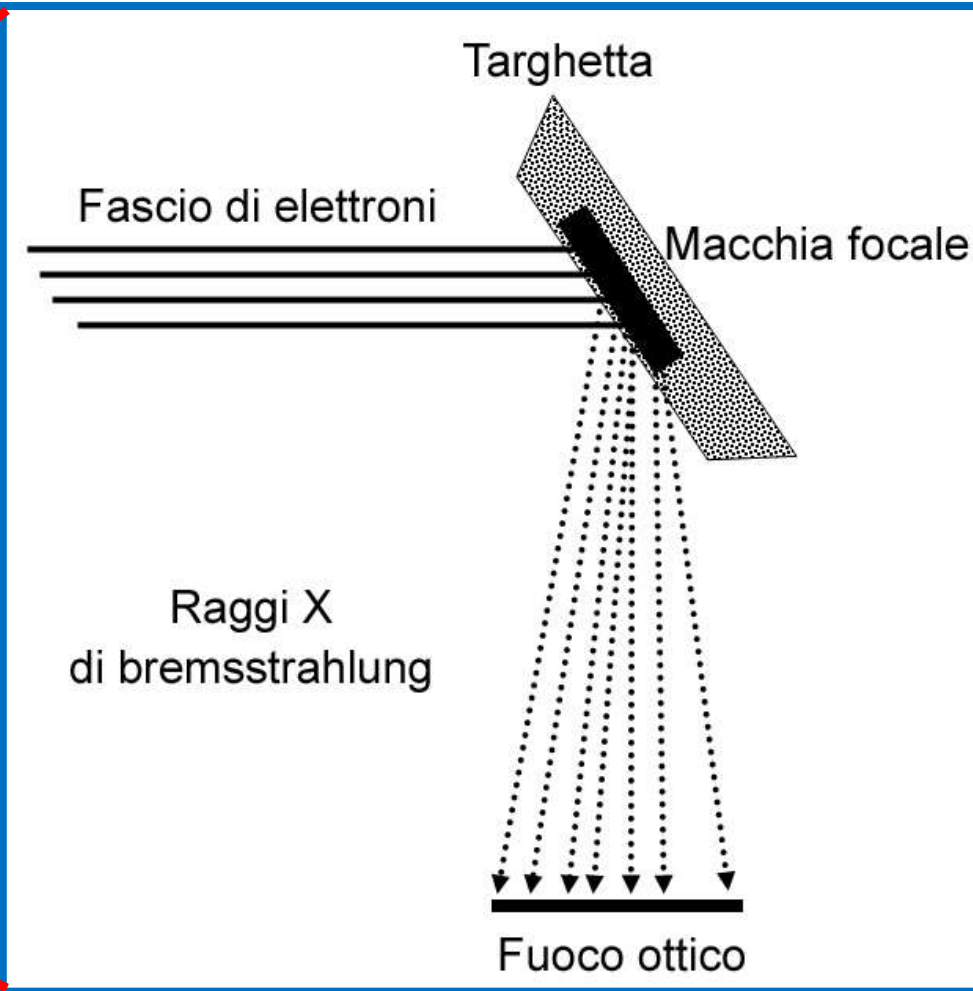
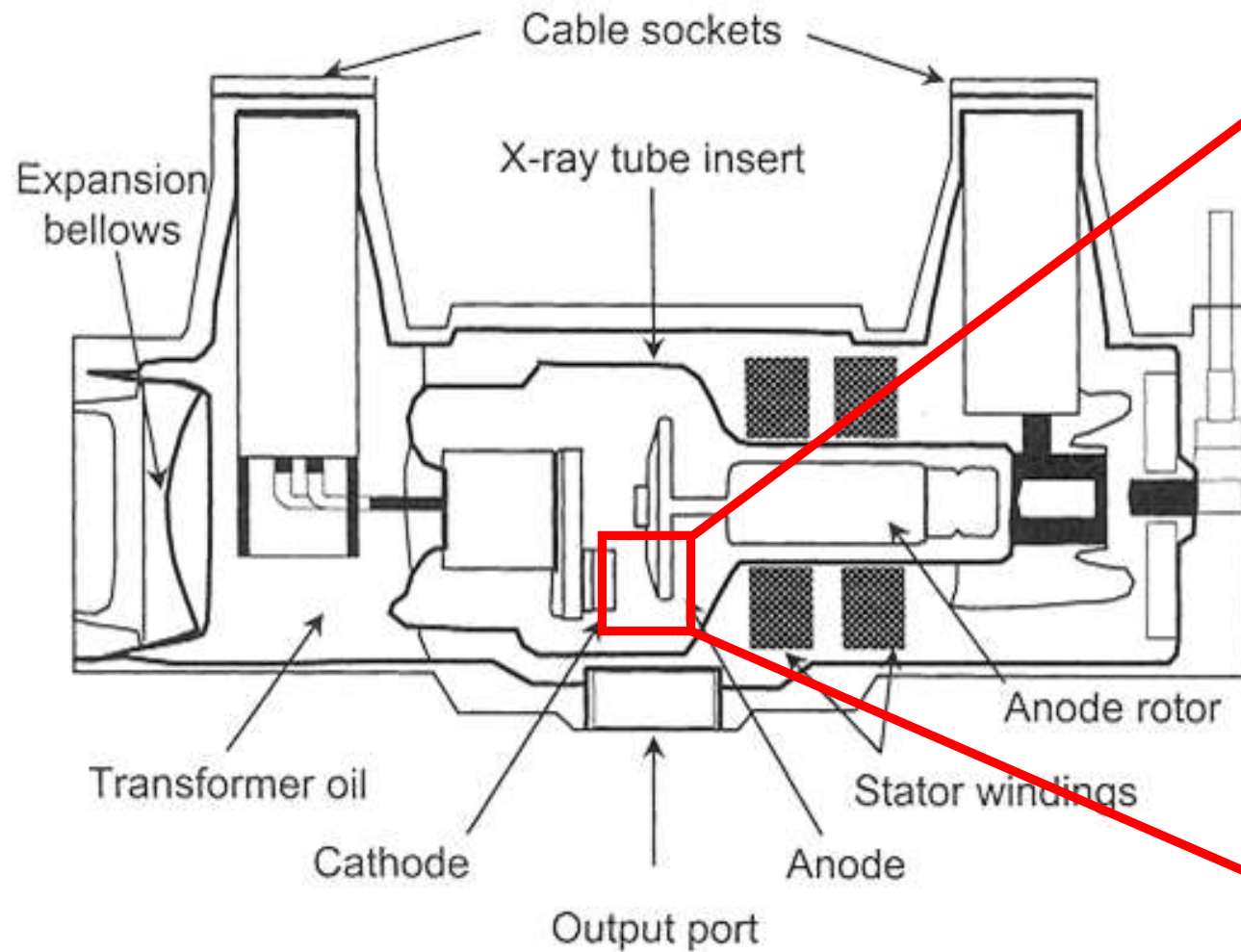


Apparecchiature RX

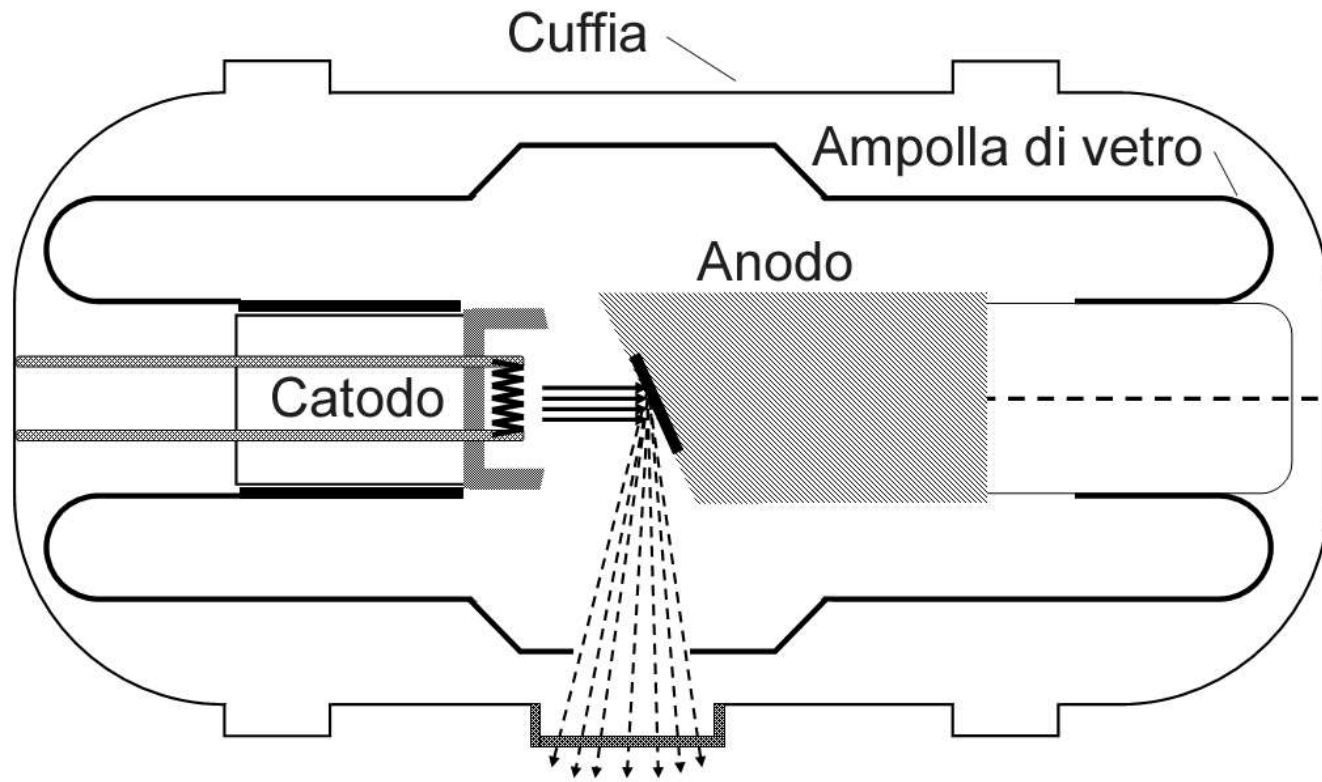
Schema di principio di una apparecchiatura Rx



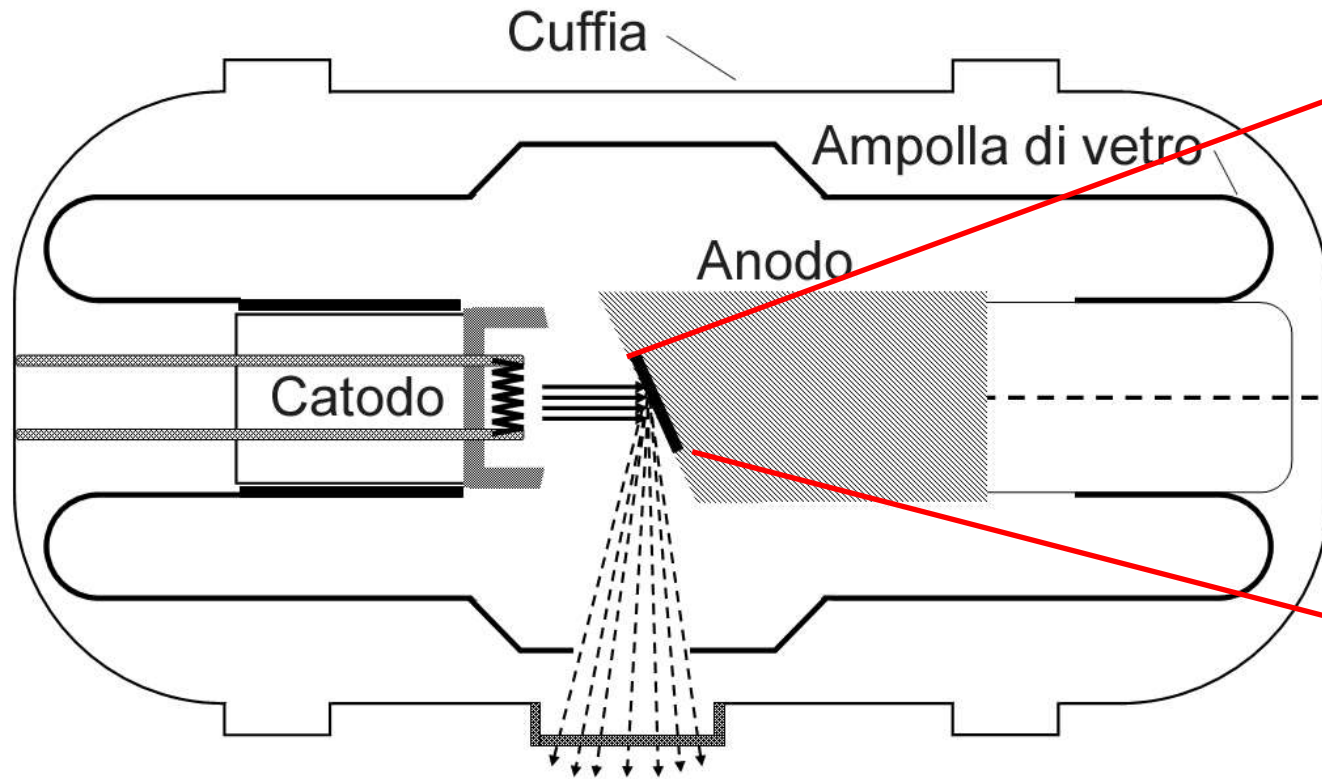
Produzione dei Raggi X



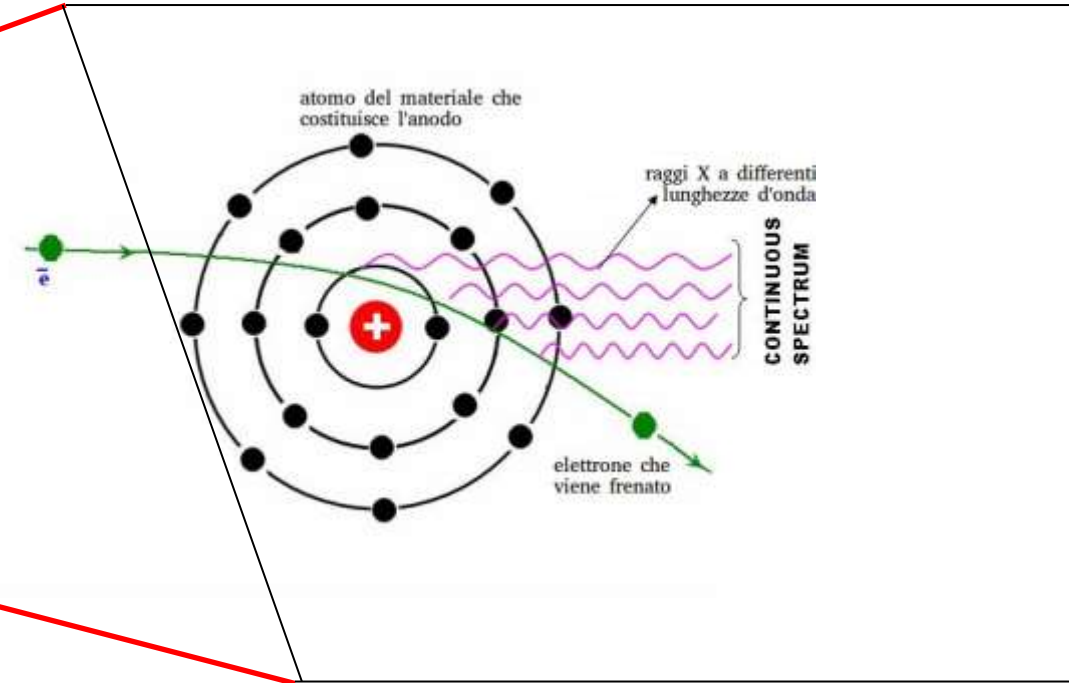
Elementi costituenti del Tubo Rx



Principio di funzionamento del Tubo Rx



Ingrandimento dell'Anodo

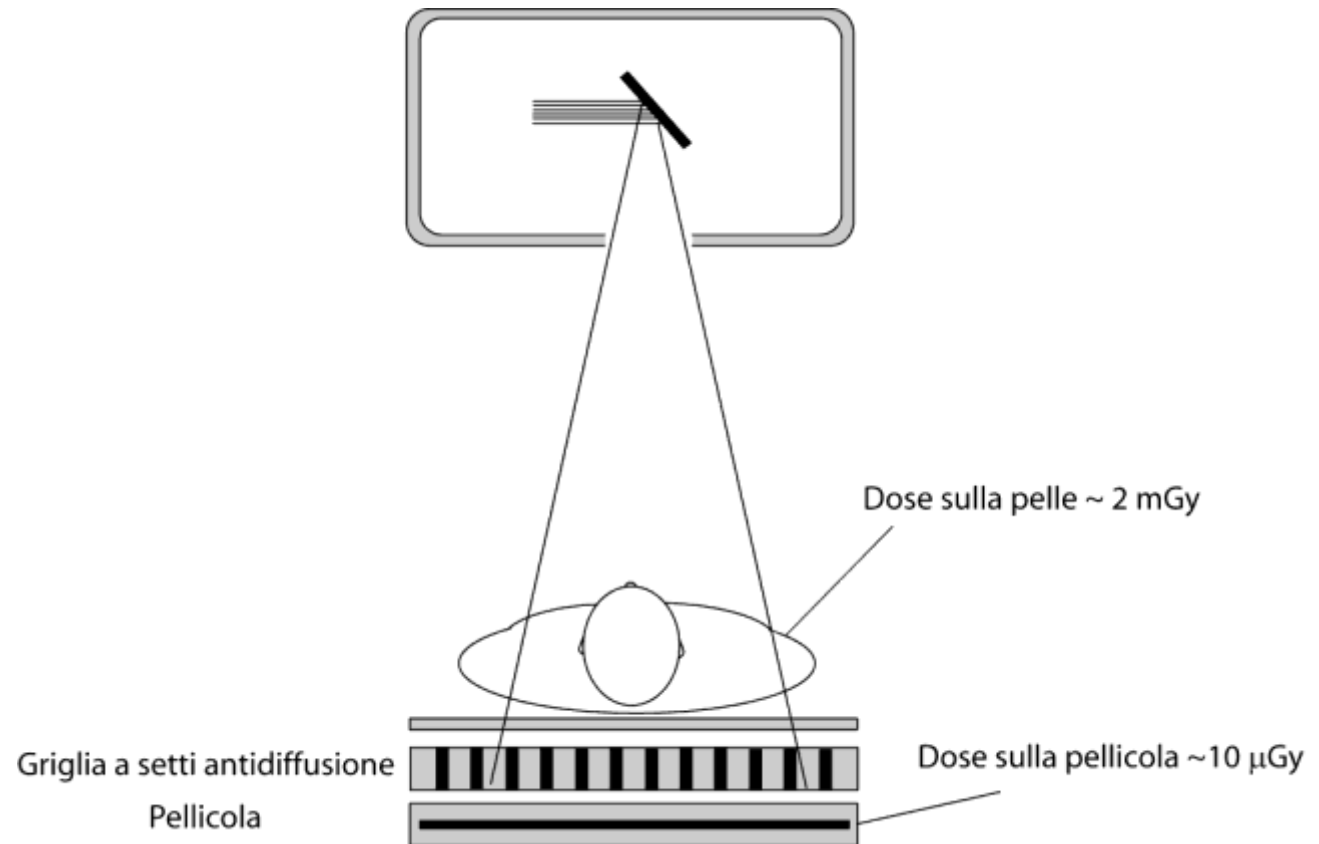


Per un fascio di elettroni che incide su un bersaglio di un certo spessore la frazione F dell'energia iniziale che viene convertita in Rx è approssimativamente pari a: $F \sim 7 \cdot 10^{-4} Z E_c$

La produzione dell'immagine radiologica

I parametri fondamentali per ogni apparecchiatura RX sono:

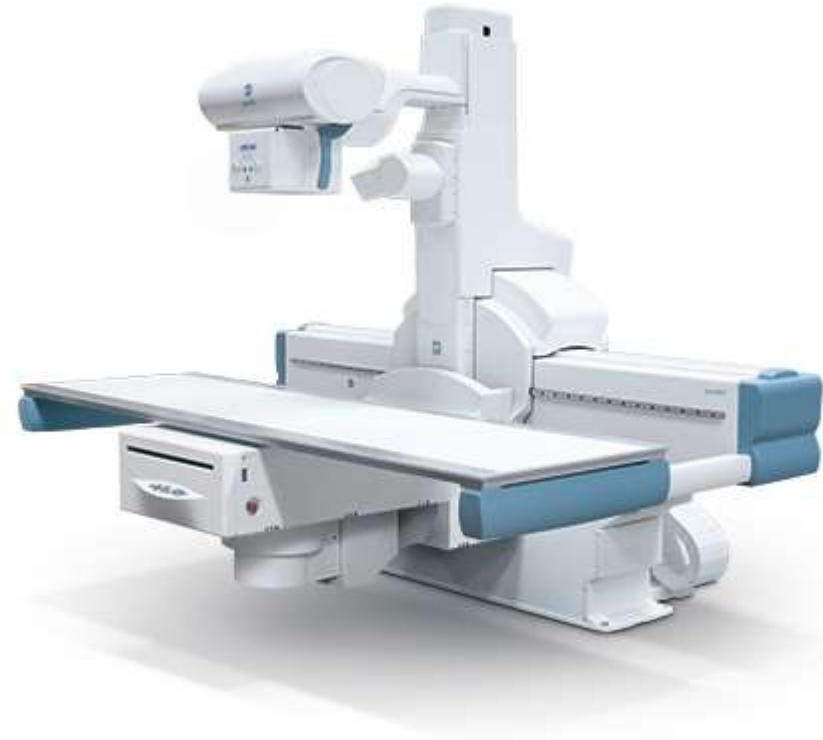
- Kilovolt [kV]
- MilliAmpere [mA]
- Tempo [s]



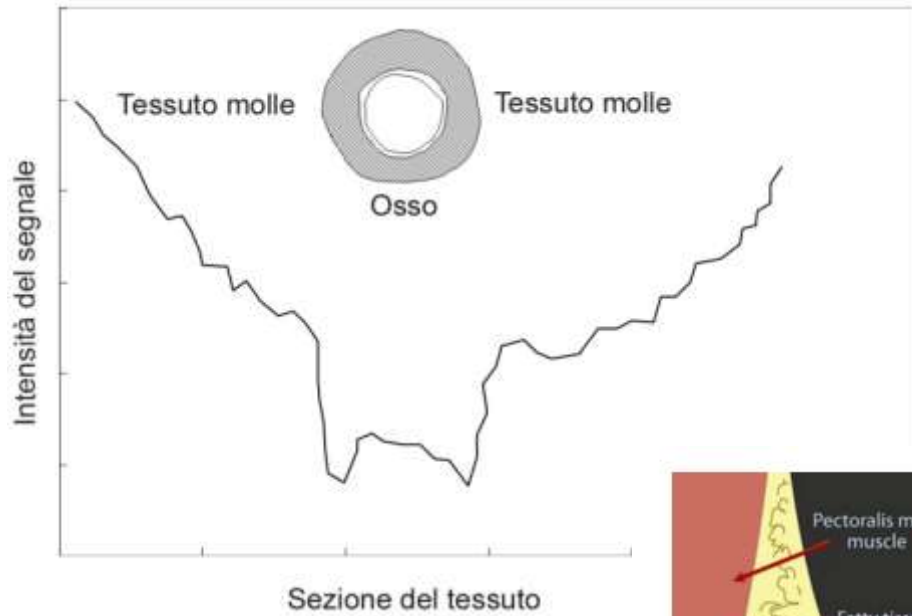
La produzione dell'immagine radiologica

Le principali modalità di erogazione per produrre una immagine sono:

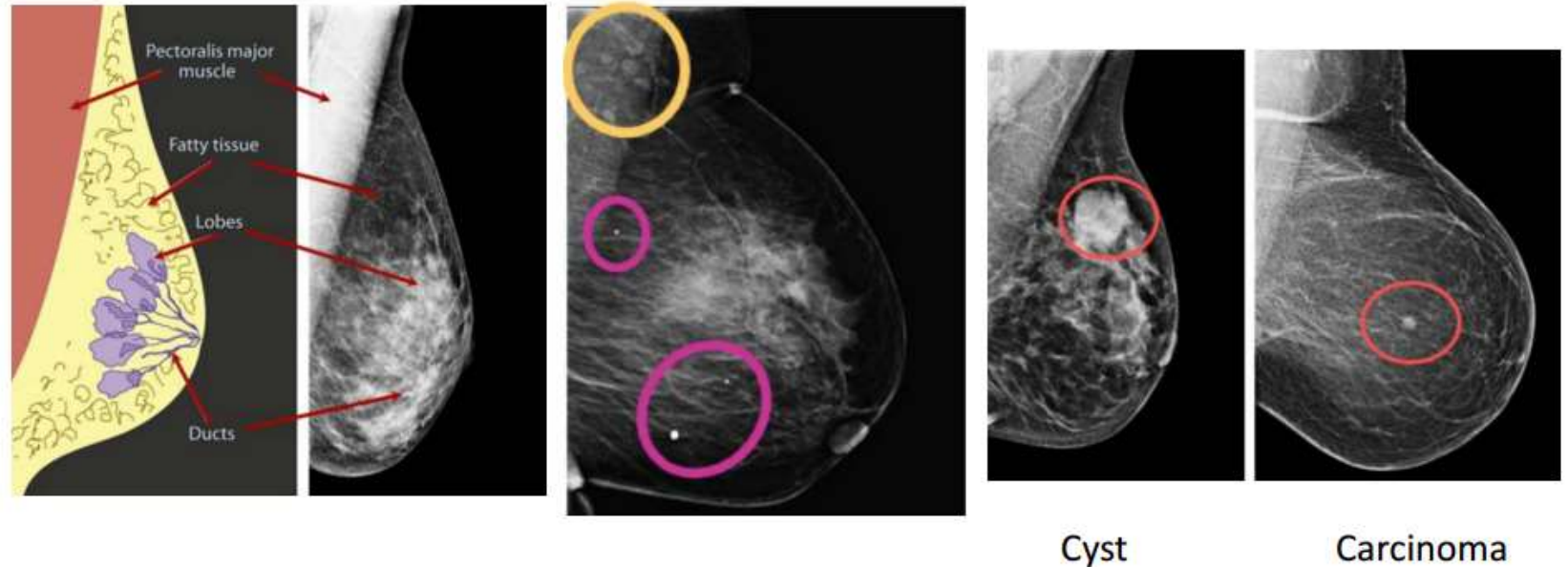
- Grafia $[\uparrow \text{mA} - \downarrow \text{s}]$
- Scopia $[\uparrow \text{s} - \downarrow \text{mA}]$



La produzione dell'immagine radiologica

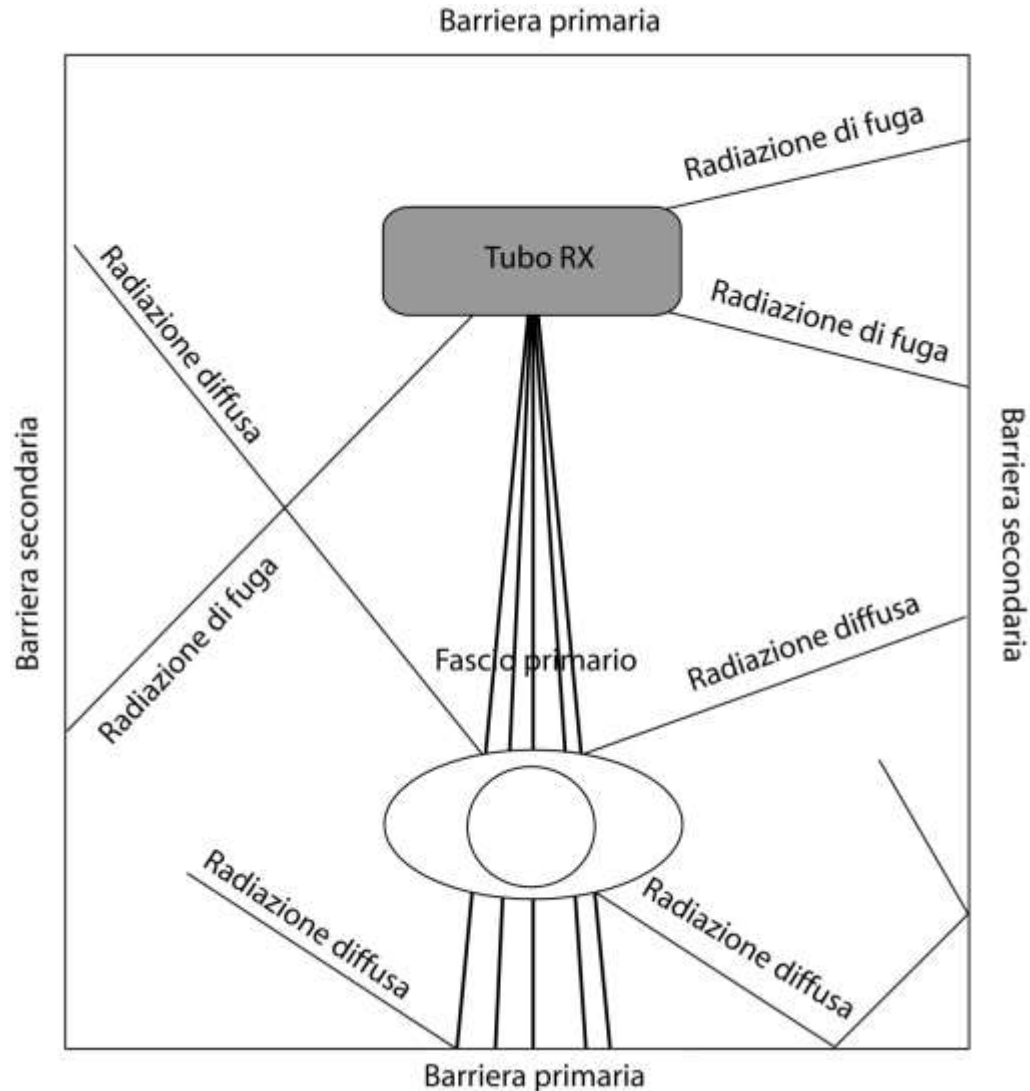


$$Dose = I \cdot \Delta t \propto \frac{(kV)^n \cdot mA}{d^2} \cdot \Delta t$$



Le Schermature

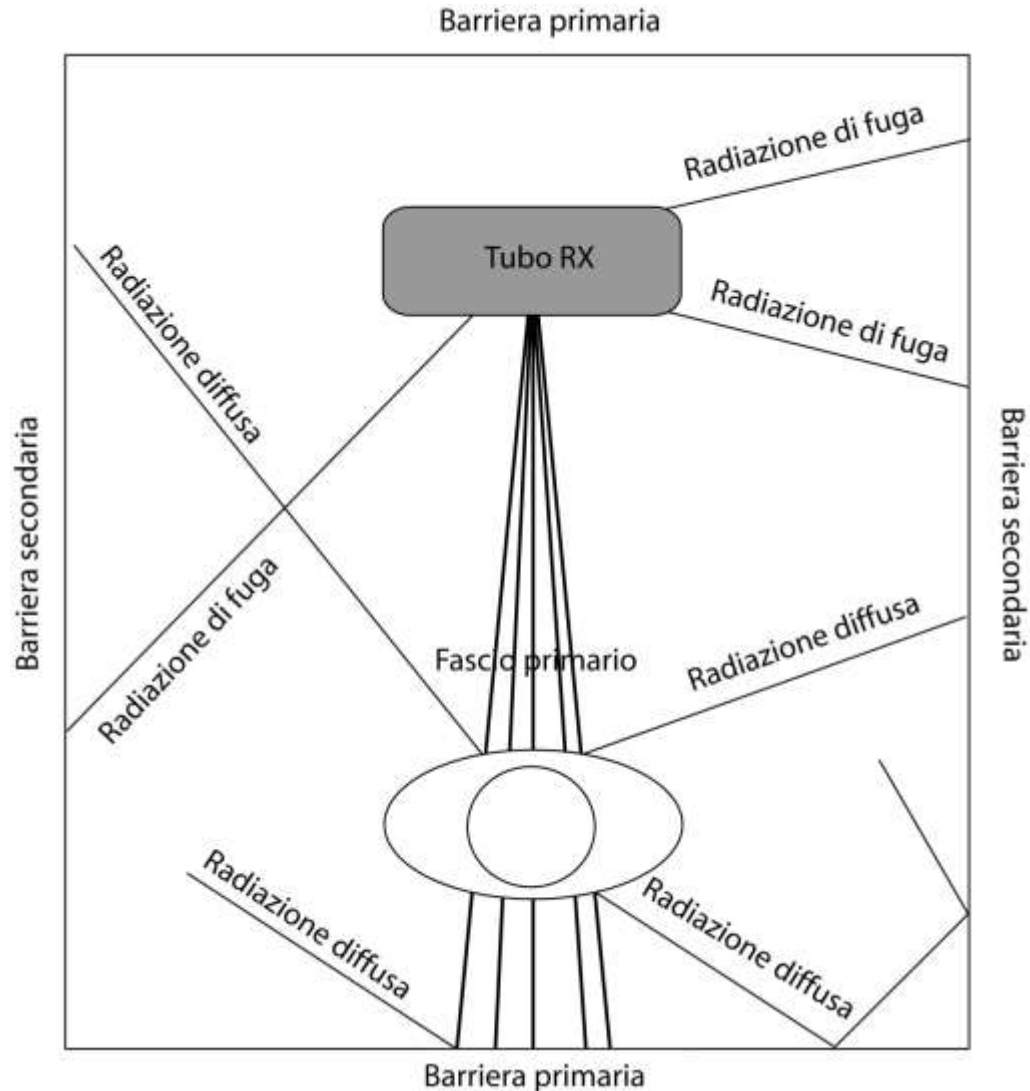
Il Fascio Primario



Per **fascio primario** si intende il fascio di radiazione X emergente dalla finestra della macchina radiogena dopo aver subito le dovute filtrazioni da parte della cuffia e della guaina protettiva o dopo un eventuale collimatore. La direzione di emissione è ovviamente stabilita dall'inclinazione dell'anodo rispetto al fascio di elettroni provenienti dal catodo.

Il fascio primario rappresenta quindi la fonte di rischio più elevata per quanto riguarda l'irraggiamento esterno.

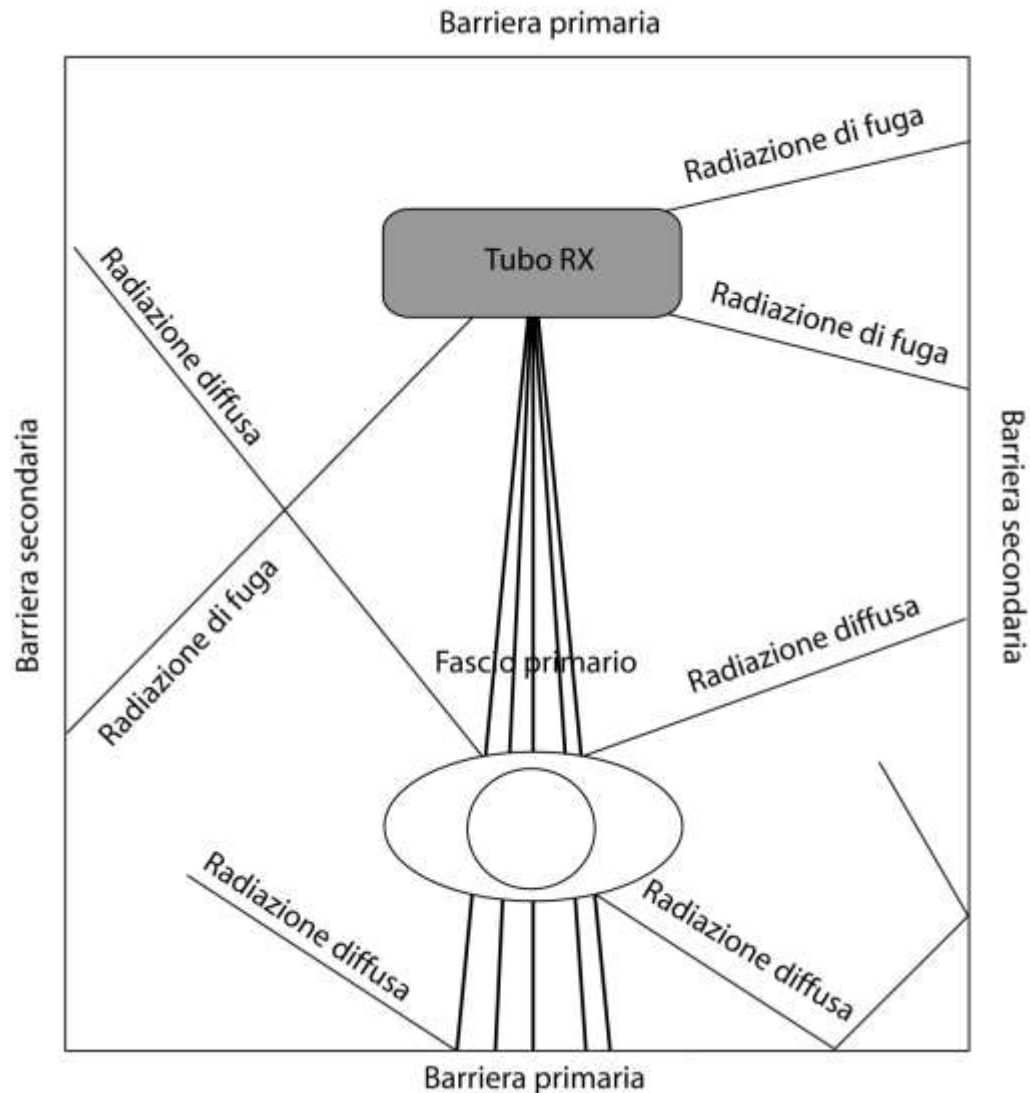
La Radiazione Secondaria



RADIAZIONE DIFFUSA:

Quando il fascio primario investe il paziente o l'oggetto da radiografare interagisce con esso principalmente per effetto fotoelettrico e per effetto Compton. La radiazione primaria può quindi subire diffusioni all'entrata, all'interno e all'uscita del corpo esposto al fascio X generando un campo di radiazione diffusa distribuito in tutte le direzioni e dalle caratteristiche topografiche dipendenti dalla geometria di irraggiamento, dalle dimensioni del corpo radiografato e dai parametri della macchina radiogena.

La Radiazione Secondaria



RADIAZIONE DI FUGA:

quando il fascio di elettroni interagisce sulla targhetta anodica oltre al fascio primario, emesso in una direzione privilegiata, viene generato un campo di radiazione tutte le direzioni che dà origine a radiazione parassita. Per ridurre l'intensità di tale radiazione, e limitare quindi l'emissione a un fascio utile, i tubi radiogeni vengono racchiusi all'interno di apposite cuffie o guaine protettive costituite da materiale X-assorbente. Per radiazione di fuga si intende la radiazione parassita che riesce comunque a emergere dalla cuffia durante l'emissione del fascio.

L'interazione con la materia vivente

La Genesi del danno

(1/2)

Gli effetti biologici delle radiazioni si articolano e sviluppano in 4 fasi:

1 – Fase Fisica

Ionizzazione di molecole o atomi all'interno della cellula per effetto della radiazione

Le coppie di ioni così formate possono dare origine a altre ionizzazioni a catena generano così una “nube ionica”

Radiolisi dell'acqua:



La Genesi del danno

(2/2)

2 – Fase Fisico - Chimica

Le molecole ionizzate tendono a **dissociarsi** con formazione di Radicali Liberi altamente reattivi



3 – Fase Chimica

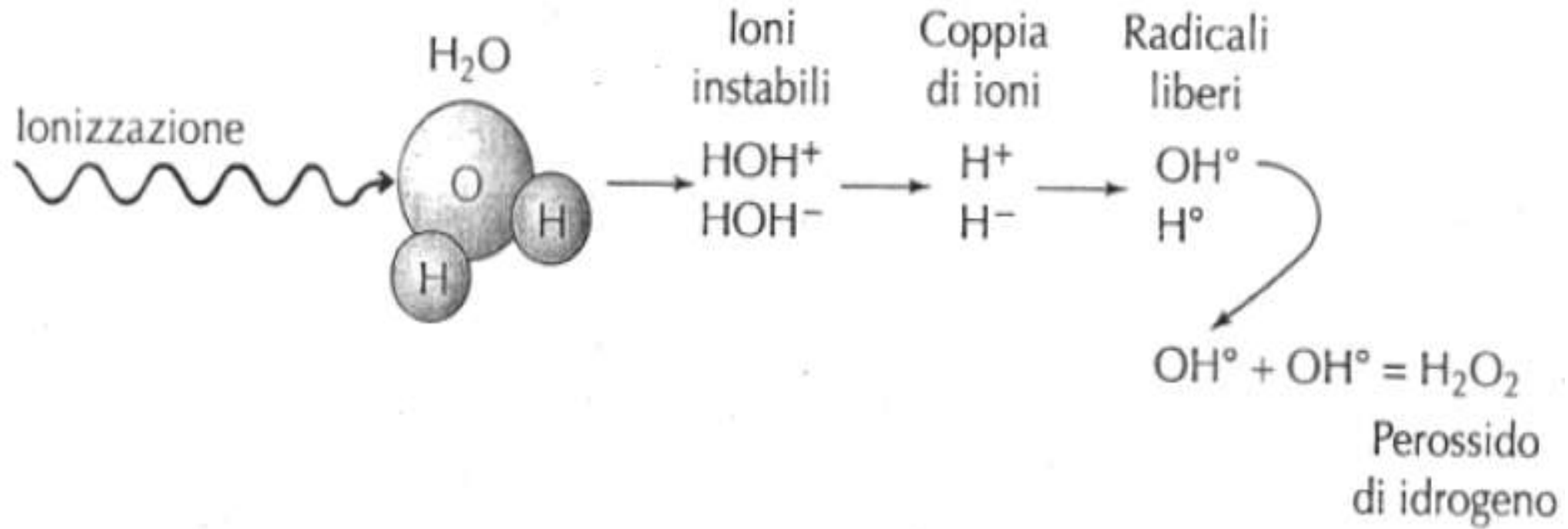
Interazione chimica dei Radicali Liberi con Molecole o Proteine o DNA

4 – Fase Biologica

Trasferimento delle modifiche chimiche ai sistemi biologici (Denaturazione Proteica)

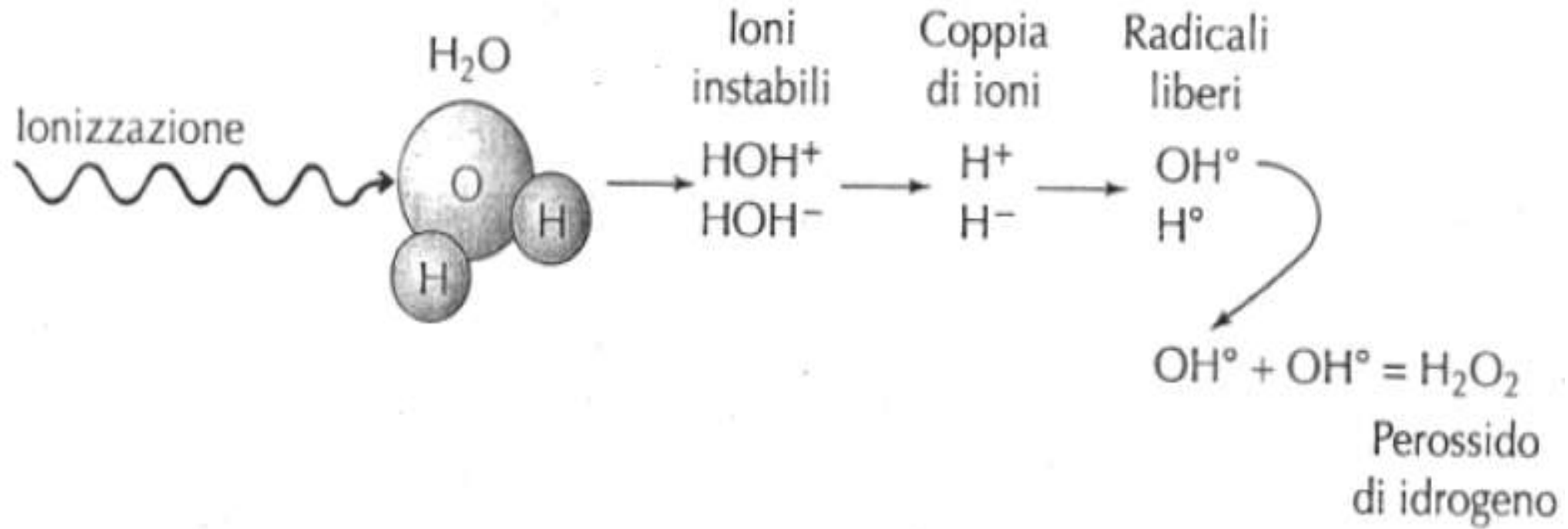
Mutazione Genetica a causa del DNA danneggiato

La Genesi del danno – la produzione di radicali liberi



Quando i radicali liberi ($H^\bullet$ e $OH^\bullet$) agiscono sui composti organici (RH) diluiti in acqua, i loro effetti diventano gravi, in quanto si formano radicali liberi organici ($R^\bullet$).

La Genesi del danno – la produzione di radicali liberi



La formazione dei radicali liberi, essendo un processo chimico, può essere modificata da processi biologici. Per esempio, gli enzimi che distruggono i perossidi quali la **catalasi** o la **perossidasi**, riducendo la quantità di H_2O_2 intracellulare, riducono anche l'entità di un eventuale danno biologico che altrimenti si produrrebbe.

Grazie per l'attenzione !

Ing. Marco Martellucci

martelluccimarco@gmail.com